



Maria Isabel Palma Calado Osório de Castro

Licenciada em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

**Proposta de metodologia para o estudo da
localização de instalações destinadas ao
parqueamento de viaturas de transporte de
mercadorias alimentares**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Professor Doutor Pedro Emanuel Botelho Espadinha da
Cruz, Professor Auxiliar Convidado, Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

Co
orientadora: Professora Doutora Virgínia Helena Machado, Professora
Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade
NOVA de Lisboa

Júri:

Presidente: Professora Doutora Isabel Maria do Nascimento Lopes Nunes
Vogais: Professora Doutora Ana Paula Ferreira Barroso
Professor Doutor Pedro Emanuel Botelho Espadinha da Cruz



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

novembro 2020

Redefinição do estacionamento das viaturas de dois serviços de transporte de mercadorias na Transportes Paulo Duarte, Lda.

Copyright © 2020 M^a Isabel Palma Calado Osório de Castro, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de deixar um especial apreço à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa, que me acolheu e enriqueceu a minha formação académica.

Um especial agradecimento ao Professor Pedro Espadinha e à Professora Virgínia Machado, pela sua disponibilidade, preocupação, simpatia e orientação durante o desenvolvimento da presente dissertação.

Agradeço à empresa que me acolheu e acompanhou na realização deste projeto, a Transportes Paulo Duarte Lda., e a todos os colaboradores com quem tive o privilégio de trabalhar e de conhecer, com especial destaque aos meus orientadores, António Paulo Duarte e Pedro Soares, que me apresentaram o projeto e sempre se prontificaram a orientar o meu trabalho com grande solicitude.

Quero ainda deixar um especial agradecimento às minhas amigas pela ajuda e motivação.

Por fim, um grande obrigado às pessoas sem as quais nada disto seria possível, aos meus pais e irmãs, pelo apoio, carinho e paciência desde sempre.

"A linha entre a desordem e a ordem está na logística." (Sun Tzu)

RESUMO

O transporte rodoviário de mercadorias, embora essencial, gera custos elevados às organizações, criando a necessidade de subcontratação de empresas transportadoras. Contudo, estas também enfrentam desafios logísticos, nomeadamente no planeamento da localização de instalações.

O objetivo da dissertação consiste em desenvolver uma metodologia para estudar a localização de instalações destinadas ao estacionamento de viaturas de transporte de mercadorias alimentares. A metodologia propõe a aplicação de problemas de programação linear, desenvolvidos através de alterações realizadas à formulação clássica do problema de localização simples de instalações, e integra os critérios de decisão *minimax* da oportunidade perdida e Hurwicz na análise da incerteza na procura. Adicionalmente, aplica a análise ABC no processo de tratamento de dados e a análise de sensibilidade dos problemas de programação linear.

Devido à localização pouco estratégica da sua sede, a Transportes Paulo Duarte Lda. revelou sofrer de custos elevados resultantes de deslocações realizadas pelas viaturas vazias dos serviços de transporte de líquidos alimentares nacional (Serviço_LAS) e frigorífico internacional (Serviço_FI), tendo, por isso, constituído o objeto do presente estudo de caso.

Verificou-se que a decisão que minimiza os custos totais consiste em gerir, em conjunto, as instalações já existentes na Azambuja e em Torres Vedras. Considerando os custos de deslocação dos motoristas, estima-se um custo total médio entre cenários de 348 388 € para o Serviço_LAS e 449 766 € para o Serviço_FI, aproximadamente. A metodologia proposta permitiu responder ao problema apresentado pela Transportes Paulo Duarte Lda.

Palavras-chave: Transporte rodoviário de mercadorias; Problema de localização simples; Critério *minimax* da oportunidade perdida; Critério de Hurwicz; Análise de sensibilidade; Programação linear; Análise ABC.

ABSTRACT

Road freight transport, although essential, generates high costs for organizations, creating the need for outsourcing transport companies. However, they also face logistical challenges, namely in plant location planning.

The goal of the dissertation is to develop a methodology for the study of the location of facilities for the parking of food transport vehicles. The methodology proposes the application of linear programming problems, developed through changes made to the classic formulation of the uncapacitated facility location problem, and integrates the decision criteria minimax regret and Hurwicz in the analysis of demand uncertainty. In addition, it applies ABC analysis to the data processing process and analyzes the sensitivity of linear programming problems.

Due to the lack of strategic location of its headquarters, Transportes Paulo Duarte Lda. revealed to suffer from high costs associated with trips made by the empty vehicles of the national food liquid transport service (Serviço_LAS) and international refrigerator service (Serviço_FI), having, therefore, constituted the object of the case study.

It was found that the decision that minimizes total costs is to jointly manage the facilities that already exist in Azambuja and Torres Vedras. Considering the travel costs of the drivers, it is estimated an average total cost between scenarios of 348 388 € for the Service_LAS and 449 766 € for the Service_FI, approximately. The proposed methodology allowed to solve the problem presented by Transportes Paulo Duarte Lda.

Keywords: Road freight transport; Uncapacitated Facility Location Problem; Minimax regret criterion; Hurwicz criterion; ABC analysis; Linear Programming; Sensitivity analysis.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AS – Análise de sensibilidade

B2C – *Business to customer*

CA – Cadeia de abastecimento

CD – Centro de distribuição

CPU – *Central Process Unit*

FO – Função objetivo

GCA – Gestão da cadeia de abastecimento

PL – Programação linear

PLIM – Programação linear inteira mista

Serviço_FI – Serviço de transporte frigorífico internacional

Serviço_LAS – Serviço de transporte de líquidos alimentares nacional sul

TPD_TV – Sede da Transportes Paulo Duarte Lda.

UFLP – *Uncapacitated Facility Location Problem*

NOTAÇÃO

$A(d_i, s_j)$ – Arrependimento associado à decisão d_i se o cenário s_j ocorrer

$A_{rel}(d_i, s_j)$ – Arrependimento relativo associado à decisão d_i se o cenário s_j ocorrer

$A_{rel}(d_i)$ – Arrependimento relativo da decisão d_i

a – Número total de motoristas

α – Coeficiente de otimismo de Hurwicz

c_{ij} – Custo de afetar o concelho j à instalação localizada em i

$C(d_i, s_j)$ – Custo associado à decisão d_i se o cenário s_j ocorrer

$C_{max}(d_i)$ – Custo máximo da decisão d_i

$C_{max}(s_i)$ – Custo máximo do cenário s_i

$C_{min}(d_i)$ – Custo mínimo da decisão d_i

$C_{min}(s_i)$ – Custo mínimo do cenário s_i

d_i – Decisão i

d_j – Procura de cada concelho j (número de vezes que j é visitado)

f_i – Custo fixo de localizar uma instalação em i

H – Custo médio ponderado

I – Conjunto de potenciais localizações para as instalações

J – Conjunto de concelhos, associados a pontos de carga/descarga

m – Número total de concelhos associados a pontos de carga/descarga

n – Número total de potenciais localizações para as instalações

p – Número de instalações a abrir, de entre as n possíveis

s_j – Cenário j

v_i – Custos variáveis anuais de deslocação de um motorista, desde o seu concelho de residência a cada potencial localização i

x_{ij} – Variável de decisão associada à afetação de cada concelho j à instalação em i

y_i – Variável de decisão associada à localização de cada instalação em i

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	ENQUADRAMENTO DO ESTUDO.....	1
1.2	JUSTIFICAÇÃO DO TEMA.....	2
1.3	OBJETIVOS DO ESTUDO	2
1.4	METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO	3
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	4
2	O SETOR DO TRANSPORTE DE MERCADORIAS E A LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES	5
2.1	LOGÍSTICA.....	5
2.1.1	Custos logísticos	5
2.1.2	Estratégias logísticas	6
2.1.2.1	Áreas do planeamento estratégico.....	6
2.2	TRANSPORTES	7
2.2.1	Transporte rodoviário de mercadorias	8
2.2.1.1	Vantagens e desvantagens.....	8
2.2.1.2	Custos associados.....	8
2.2.2	Subcontratação do serviço de transporte.....	9
2.2.3	Transporte rodoviário de mercadorias em Portugal.....	9
2.3	LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES.....	10
2.3.1	O estudo da localização de instalações	10
2.3.1.1	Recolha de dados.....	11
2.3.1.2	Classificação dos problemas de localização de instalações	11
2.3.2	Evolução do problema de localização simples	13
2.3.2.1	Do problema de Weber ao de localização simples.....	13
2.3.2.2	Resolução do problema de localização simples	13

2.3.2.3	Adaptação do problema de localização simples para outros problemas	14
2.3.3	Áreas de aplicação	14
2.4	PROBLEMAS ESTOCÁSTICOS E SOB INCERTEZA NO CONTEXTO DA LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES	16
2.4.1.1	Análise por cenários	17
2.4.2	Problemas estocásticos.....	18
2.4.3	Problemas sob incerteza.....	18
2.4.3.1	Critério <i>minimax</i>	19
2.4.3.2	Critério <i>minimax</i> da oportunidade perdida.....	19
2.4.3.3	Critério <i>maximin</i>	20
2.4.3.4	Critério <i>maximax</i>	20
2.4.3.5	Critério de Laplace.....	20
2.4.3.6	Critério de Hurwicz.....	21
2.4.4	Problemas estocástico versus sob incerteza	21
2.4.5	O problema de localização simples.....	23
2.4.5.1	Formulação do problema de localização simples determinístico.....	24
2.4.5.2	Formulação do problema de localização simples sob incerteza.....	25
2.4.6	Áreas de aplicação	27
2.4.6.1	Critério <i>minimax</i> de oportunidade perdida.....	27
2.4.6.2	Critério de Hurwicz.....	28
2.4.7	Análise de sensibilidade.....	29
3	METODOLOGIA PROPOSTA PARA A ESCOLHA DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES SOB INCERTEZA	31
3.1	FORMULAÇÃO	31
3.1.1	Problema de localização simples	31
3.1.1.1	Definição do problema de PL base	32
3.1.1.2	Alterações realizadas ao problema de PL base	33
3.1.2	Critérios de decisão sob incerteza.....	37
3.1.2.1	Critério <i>minimax</i> da oportunidade perdida.....	38
3.1.2.2	Critério de Hurwicz.....	39
3.2	PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA O ESTUDO DA LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES.....	40

4	ESTUDO DE CASO.....	49
4.1	CARATERIZAÇÃO DO ESTUDO.....	49
4.1.1	Transportes Paulo Duarte Lda.	49
4.1.1.1	Gestão dos tipos de serviços de transporte.....	50
4.1.1.2	Planeamento das rotas	51
4.1.1.3	Caraterização dos serviços de transporte em estudo	51
4.1.2	Identificação das caraterísticas do problema	53
4.1.3	Recolha de dados	53
4.2	ESTUDO DE CASO 1: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NO SERVIÇO DE TRANSPORTE NACIONAL DE LÍQUIDOS ALIMENTARES DA PAULO DUARTE	55
4.2.1	Tratamento de dados	55
4.2.1.1	Aplicação da Análise ABC aos clientes do Serviço_LAS.....	56
4.2.1.2	Caraterização dos pontos de carga e descarga das viaturas	56
4.2.1.3	Determinação da procura e das potenciais localizações	60
4.2.1.4	Custos.....	62
4.2.2	Problema de programação linear	64
4.2.2.1	Determinação da solução ótima dos problemas de PL base e das abordagens	64
4.2.2.2	Análise de sensibilidade dos problemas de PL	66
4.2.3	Aplicação dos critérios de decisão na análise da incerteza.....	76
4.2.3.1	Definição dos cenários	76
4.2.3.2	Seleção dos critérios de decisão.....	79
4.2.3.3	Aplicação dos critérios de decisão	79
4.2.4	Comparação dos resultados obtidos pelos problemas de programação linear e análise da incerteza	83
4.2.4.1	Problemas de programação linear	83
4.2.4.2	Análise da incerteza	84
4.2.5	Feedback apresentado pela empresa.....	87
4.3	SÍNTESE.....	88
5	CONCLUSÕES FINAIS E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	89
5.1	CONCLUSÕES FINAIS.....	89
5.2	LIMITAÇÕES DO ESTUDO	93

5.3	PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS.....	94
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
	ANEXO A.....	103
	ANEXO B	107
	ANEXO C.....	109
	ANEXO D.....	112
	ANEXO E	115
	ANEXO F	116
	ANEXO G.....	120
	ANEXO H.....	126
	ANEXO I	130
	ANEXO J.....	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Metodologia aplicada na dissertação.....	3
Figura 2.1 - Triângulo do planeamento logístico	7
Figura 2.2 - Vantagens e desvantagens dos critérios de decisão aplicados a problemas de localização	22
Figura 3.1 - Cálculo do custo anual de deslocação por motorista (exemplo explicativo).....	36
Figura 3.3 - Metodologia proposta.....	40
Figura 3.4 - Percurso típico realizado pelas viaturas de transporte de produtos alimentares.....	43
Figura 4.1 - Análise ABC dos clientes do Serviço_LAS em 2019	57
Figura 4.2 - Análise de sensibilidade sobre o coeficiente α (Serviço_LAS)	83

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Matriz (M).....	25
Tabela 3.1 - Matriz de arrependimentos.....	39
Tabela 3.2 - Critério <i>minimax</i> da oportunidade perdida.....	39
Tabela 3.3 - Critério de Hurwicz.....	39
Tabela 3.4 - Exemplo de estrutura de tabela dos custos de cada problema sob incerteza	47
Tabela 4.1 - Características dos serviços LAS e FI	52
Tabela 4.2 - Número de deslocações em vazio realizados pelo Serviço_LAS em cada região portuguesa, por distrito e concelho, e respetiva percentagem de concelhos por região	60
Tabela 4.3 - Número de deslocações em vazio realizados pelo Serviço_LAS em cada região espanhola, por comunidade autónoma e província, e respetiva percentagem de províncias por região	60
Tabela 4.4 - Procura do Serviço_LAS em 2019.....	61
Tabela 4.5 - Custos fixos de instalação (em €/m ² e €) para o Serviço_LAS.....	63
Tabela 4.6 - Custo anual de deslocação por motorista para o Serviço_LAS	65
Tabela 4.7 - Resultados obtidos pelos seis problemas de PL (Serviço_LAS)	66
Tabela 4.8 - AS do problema de PL base, Serviço_LAS (variáveis de decisão dos custos fixos)	67
Tabela 4.9 - AS do problema de PL base, Serviço_LAS (restrições associadas aos custos fixos)	70
Tabela 4.10 - AS do problema de PL base, Serviço_LAS (variáveis de decisão dos custos variáveis, pertencentes à solução ótima)	72
Tabela 4.11 - AS do problema de PL base, Serviço_LAS (variáveis de decisão dos custos variáveis, não pertencentes à solução ótima).....	73
Tabela 4.12 - AS do problema de PL base, Serviço_LAS (restrições associadas aos custos variáveis).....	74
Tabela 4.13 - AS do problema de PL da abordagem ‘Liquidação de todas as instalações atuais’, Serviço_LAS (variáveis de decisão dos custos fixos)	76
Tabela 4.14 - Matriz dos custos totais das decisões (Serviço_LAS).....	80

Tabela 4.15 - Matriz de arrependimentos (Serviço_LAS)	81
Tabela 4.16 - Critério <i>minimax</i> da oportunidade perdida (Serviço_LAS)	81
Tabela 4.17 - Critério de Hurwicz (Serviço_LAS)	82

1 INTRODUÇÃO

A presente dissertação, elaborada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa, tem como objetivo basilar desenvolver uma metodologia para a definição da localização de instalações de estacionamento de viaturas que se destinam ao transporte de mercadorias alimentares. A proposta empírica do estudo científico foi testada e validada através do trabalho desenvolvido na empresa Transportes Paulo Duarte Lda, que constitui o objeto do estudo de caso.

Este capítulo inicia com o enquadramento da dissertação e a justificação do tema. De seguida, são apresentados os objetivos a alcançar através da realização do estudo, bem como a metodologia seguida para o seu desenvolvimento. Por fim, descreve-se a estrutura do conteúdo da dissertação.

1.1 ENQUADRAMENTO DO ESTUDO

Desde a Idade Antiga que a logística está intimamente ligada com o comércio, um dos motores do crescimento e desenvolvimento da humanidade, e é considerada valiosa e essencial para a sociedade. Atualmente, está presente em diversos setores, como o do transporte rodoviário de mercadorias, e é empregue por múltiplas organizações. Uma gestão logística eficaz lida com uma ampla gama de decisões (estratégicas, táticas e operacionais) no âmbito do projeto de redes de distribuição, localização da instalação, nível de *stocks*, entre outros.

Na época atual, o transporte de mercadorias é um elemento fundamental para o ambiente competitivo e uma parte essencial dos sistemas logísticos, pelo que a sua rapidez, agilidade e confiabilidade influenciam a eficiência das cadeias de abastecimento (CA). Na sua essência, o transporte rodoviário de mercadorias proporciona um serviço mais rápido e flexível que outros modos de transporte, mas por vezes a custos mais elevados.

Para além da movimentação de mercadorias, a gestão da cadeia de abastecimento (GCA) envolve decisões sobre o quê, onde e quanto produzir, níveis de *stock*, fluxos de informação e a localização de fábricas e centros de distribuição (CD). Contrariamente às decisões sobre a gestão dos transportes, *stocks*, ou da informação, que geralmente são flexíveis, o planeamento da localização das instalações pode ser mais complexo, envolvendo normalmente decisões fixas ou de difícil alteração. Isto deve-se sobretudo a custos fixos elevados, associados ao investimento de capital. Já a localização ineficiente das fábricas e dos CD também resulta em custos excessivos incorridos

ao longo da vida útil das instalações, mesmo que os planos de produção, transporte, gestão de *stocks* e de informações sejam continuamente melhorados (Kwon et al., 2020).

Na dissertação pretende-se desenvolver uma metodologia adequada para a escolha da localização do estacionamento de viaturas de transporte de mercadorias alimentares, considerando a necessidade de redução de custos associados a deslocações sem valor acrescentado. A metodologia proposta alia o problema de localização simples com os critérios *minimax* da oportunidade perdida e Hurwicz na análise da incerteza na decisão, sendo aplicável a outros problemas com características semelhantes. Adicionalmente, também se propõe a alteração na formulação clássica do problema de localização simples que possibilita a introdução dos custos associados às deslocações dos motoristas para a nova instalação, uma vez que qualquer empresa é obrigada, por lei, a suportar estas despesas. Dependendo da localização da instalação e do número de motoristas, estes custos podem ser mais/menos elevados, tornando relevante a sua introdução no estudo da localização. Esta adaptação do problema constitui a contribuição mais relevante da dissertação.

1.2 JUSTIFICAÇÃO DO TEMA

A área da logística tem sido progressivamente valorizada por diversos motivos, sendo uma delas a sua capacidade de redução de custos. São os benefícios que decorrem da sua prática que a tornam num motor de competitividade entre organizações. Neste contexto, o tema é relevante uma vez que pretende dar resposta ao problema da existência de elevados custos sem valor acrescentado, no contexto de empresas transportadores. Esta resposta passa pela proposta de uma metodologia capaz de analisar a redefinição da localização de instalações, destinadas ao estacionamento de viaturas de transporte de mercadorias alimentares, considerando os custos de deslocações em vazio e a atual localização das instalações da empresa. A relevância da metodologia deve-se ainda à introdução dos custos dos motoristas, nomeadamente os associados às suas deslocações para as instalações. A aplicação dos critérios de decisão permite ainda incorporar a análise da incerteza na procura no estudo da localização.

1.3 OBJETIVOS DO ESTUDO

O principal objetivo é desenvolver uma metodologia capaz de selecionar a localização do estacionamento de viaturas de transporte de mercadorias, através da análise dos percursos realizados em vazio e da incerteza na decisão, com vista à minimização dos custos. Pretende-se

ainda adaptar a formulação clássica do problema de localização simples, de modo a se introduzir no estudo os custos de deslocação dos motoristas às novas instalações. Finalmente, considera-se o *feedback* apresentado do decisor, fazendo alterações à metodologia proposta se necessário.

Os problemas de localização de instalações constituem o ponto fulcral da presente dissertação, juntamente com a aplicação de critérios de decisão na análise da incerteza associada à decisão “Qual a localização da zona de estacionamento das viaturas de transporte de mercadorias que permite minimizar os custos associados a deslocações em vazio?”.

1.4 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

Para o desenvolvimento da dissertação será aplicada a metodologia apresentada na Figura 1.1.

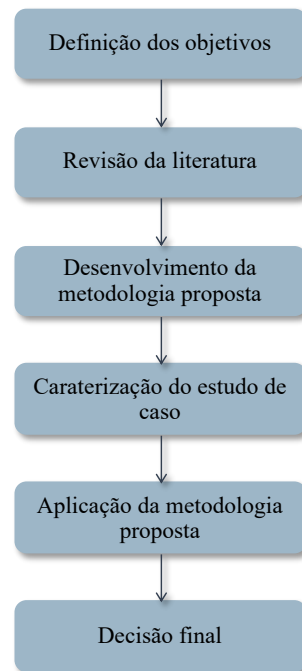


Figura 1.1 - Metodologia aplicada na dissertação

De seguida, descreve-se cada etapa da metodologia com mais detalhe.

1. **Definição dos objetivos:** Esta fase foi descrita anteriormente na secção 1.3;
2. **Revisão da literatura:** Seguidamente, faz-se a revisão da literatura existente sobre a gestão logística e a indústria transportadora, com principal enfoque na compreensão, análise e comparação de problemas de localização e de critérios de decisão, juntamente com a apresentação de resultados e respetivas áreas de aplicação;

3. **Desenvolvimento da metodologia proposta:** Nesta fase desenvolve-se a metodologia a aplicar no estudo de caso e são formulados os problemas de programação linear, a partir da formulação clássica do problema de localização simples, e os critérios de decisão. O objetivo é determinar a localização que minimiza os custos e analisar a incerteza associada a essa decisão;
4. **Caraterização do objeto do estudo:** Nesta fase identifica-se e carateriza-se a Transportes Paulo Duarte e são apresentados os tipos de serviço de transporte de mercadorias em análise, desde os produtos que transportam, clientes e rotas efetuadas, até aos seus pontos de carga e descarga;
5. **Aplicação da metodologia proposta:** Nesta fase aplicam-se os problemas de programação linear e os critérios de decisão *minimax* da oportunidade perdida e Hurwicz e comparam-se os resultados obtidos;
6. **Decisão final:** Com base na comparação dos resultados, determina-se a decisão final.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos, onde o primeiro, com o título “**Introdução**”, faz um enquadramento do estudo, bem como a justificação do tema, definição dos objetivos e conceção da metodologia para os atingir.

O segundo capítulo, “**O setor do transporte de mercadorias e o planeamento da localização de instalações**”, faz a revisão da literatura relevante sobre as atividades logísticas presentes nesta dissertação (setor do transporte de mercadorias e localização de instalações), problemas de localização e critérios de decisão.

No terceiro capítulo, “**Metodologia proposta para escolha de localização com incerteza**”, formulam-se os problemas de programação linear e critérios de decisão aplicados e apresenta-se a metodologia proposta.

O quarto capítulo, “**Caraterização do estudo de caso**”, carateriza a empresa em estudo, e respetivos serviços de transporte em questão. Apresenta ainda os resultados obtidos através da aplicação dos problemas de programação linear e dos critérios de decisão, a sua comparação e o *feedback* da empresa.

O quinto capítulo, “**Conclusões finais e propostas de trabalhos futuros**”, expõe as principais conclusões do estudo e algumas sugestões para a continuação do projeto.

2 O SETOR DO TRANSPORTE DE MERCADORIAS E A LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

O presente capítulo destina-se à introdução dos fundamentos teóricos utilizados para suporte ao estudo realizado. Visto que a dissertação se foca na aplicação de problemas de localização no contexto do setor do transporte de mercadorias, optou-se por iniciar este capítulo com uma introdução sobre a logística, seguida da contextualização do setor e finalizando com uma caracterização da atividade logística referente à localização de instalações, onde são analisados e comparados aspetos relevantes para o estudo.

2.1 LOGÍSTICA

De acordo com o CSCMP (2013), a logística é a parte da cadeia de abastecimento (CA) responsável pelo planeamento, implementação e controlo eficiente e eficaz dos fluxos (diretos e indiretos) e armazenamento de bens, dos serviços e de toda a informação relacionada, desde a origem até ao ponto de consumo, de maneira a responder às necessidades dos clientes.

Dentro da logística existem diversas atividades que podem ser realizadas em diferentes instalações. A definição da localização, dimensão e número de instalações a construir/alugar são aspetos importantes que afetam o *design* e a gestão da CA e que, por isso, constituem a atividade logística referente à localização e gestão de instalações. Outra atividade relevante é a gestão dos transportes e pode ser definida como a gestão dos fluxos físicos de materiais, que podem ser divididos em *inbound* (deslocação de materiais desde os fornecedores até à zona de receção), e *outbound* (movimentação dos materiais desde a zona de expedição até ao cliente) (Carvalho et al., 2012; Pereira et al., 2020; Waters, 2003).

2.1.1 Custos logísticos

Embora essencial, a logística pode originar custos muito elevados, distintos de indústria para indústria (Waters, 2003). Estimativas da European Commission (2019) apontam para que 10 a 15% do custo final do produto se deva inteiramente a custos logísticos. Considerando o efeito do volume de atividade, é possível distinguir dois tipos de custos (Harrison & Hoek, 2008; Stepień et al., 2016):

- **Fixos:** Não variam à medida que o volume de atividade altera, ou pelo menos dentro de um certo intervalo, sendo exemplo os custos de aluguer de instalações;
- **Variáveis:** Alteram com a variação do volume de atividade. Por exemplo, custos de materiais diretos que são encomendados de acordo com a procura.

Adicionalmente, analisando se os custos podem, ou não, ser alocados diretamente a um certo produto, é possível distinguir os custos (Harrison & Hoek, 2008; Stępień et al., 2016):

- **Diretos:** Podem ser vinculados a um produto específico. Por exemplo, custos de matérias-primas e de mão-de-obra direta;
- **Indiretos (despesas gerais):** São os custos restantes da definição dos custos diretos, como despesas salariais e taxas de aluguer pagas pelo centro de distribuição (CD).

2.1.2 Estratégias logísticas

O planeamento da CA influencia diretamente o seu sucesso e pode ser visto como um processo evolutivo, dividindo-se em: estratégico (longo prazo), com um horizonte temporal superior a 4 ou 5 anos; tático (médio prazo), entre 1 a 2 anos; e operacional (curto prazo), associado à gestão diária das operações (Carvalho et al., 2012). Segundo Ballou (2007) e Harrison & Hoek (2008), o planeamento logístico estratégico consiste num conjunto de princípios e ações que auxiliam a definição de metas, planos e políticas, sendo de extrema importância para as empresas, dado implicar custos elevados e influenciar a geração das receitas.

2.1.2.1 Áreas do planeamento estratégico

O triângulo do planeamento logístico (Figura 2.1) é definido por 4 áreas estratégicas que se influenciam mutuamente (Carvalho et al., 2012):

- **Nível de serviço ao cliente:** Dada a preocupação das empresas em definir claramente o nível de serviço ao cliente para se posicionarem corretamente na sua indústria, em termos competitivos, esta área fundamental ocupa o centro do triângulo do planeamento logístico;
- **Planeamento da localização das instalações:** Abrange a informação referente à localização dos diversos CD e ao número e dimensão das instalações. A este nível, é fundamental perceber se as entidades já se encontram localizadas nas mesmas zonas geográficas dos mercados que se pretende atingir, analisar os custos associados à escolha das localizações e ainda considerar níveis de *stock* e tempos de transporte;

- **Planeamento dos transportes:** Está relacionado com a seleção do modo de transporte a utilizar e com a consolidação, de modo geral, das cargas, rotas e horários;
- **Planeamento de *stocks*:** Define as políticas de encomenda e sistemas de controlo, de modo a definir o tipo, quantidade e localização de produtos a manter em *stock*, e o momento e condições para reposição desse *stock*.

Assim, para se alcançar uma solução que garanta um certo nível de serviço ao cliente, é preciso um equilíbrio entre diversos aspetos, como custos, localização e capacidade das instalações, transportes, entre outros. Muitas vezes, este balanço implica optar por compromissos entre vantagens estratégicas, para se atingirem certos objetivos (Carvalho et al., 2012; Waters, 2003).



Figura 2.1 - Triângulo do planeamento logístico

Adaptado de: Carvalho et al. (2012)

2.2 TRANSPORTES

O papel dos transportes sofreu uma grande evolução ao longo dos anos, como resultado do aumento do consumo de combustíveis fósseis, preocupações ambientais, evoluções tecnológicas, entre outros fatores (Sivanandham & Gajanand, 2020). Atualmente, é uma das atividades mais críticas para o desempenho da CA, responsável por grande parte dos custos logísticos e, numa visão mais alargada, é fundamental ao crescimento económico e um motor de competitividade entre as organizações (Camisón-Haba & Clemente-Almendros, 2020; Candemir & Çelebi, 2017).

Existem 6 modos fundamentais para o transporte de mercadorias (rodoviário, aéreo, ferroviário, marítimo e fluvial, e por condutas ou *pipelines*) que podem ser utilizados isoladamente ou através de uma combinação integrada (intermodalidade) (Carvalho et al., 2012).

2.2.1 Transporte rodoviário de mercadorias

No âmbito do transporte terrestre de mercadorias, o transporte rodoviário constitui grande parte das cadeias de transporte em geral, sendo indispensável para a indústria, clientes e sociedade (Candemir & Çelebi, 2017). Em 2019, correspondeu a cerca de 84% do número total de toneladas-quilómetro percorridas em Portugal (DG MOVE, 2019).

2.2.1.1 Vantagens e desvantagens

O elevado recurso ao serviço de transporte rodoviário de mercadorias deve-se a determinadas vantagens competitivas, como a vasta cobertura geográfica, reduzidas barreiras de entrada nos mercados e investimento inicial de capital relativamente reduzido. No entanto, a maior vantagem é a sua elevada flexibilidade, nomeadamente na ótica (Carvalho et al., 2012; Engström, 2016):

- **Geográfica:** Oferece a oportunidade de um serviço porta-a-porta;
- **De flexibilidade temporal:** O transporte é rápido e o planeamento é simples, sendo possível ajustar/alterar horários e rotas de acordo com os requisitos individuais, ou seja, possui uma frequência de movimentação adaptável;
- **De capacidade do transporte:** Suporta pequenas e grandes cargas.

Em contrapartida, apresenta algumas desvantagens, como limitações nas dimensões da mercadoria que é capaz de transportar, reduzida segurança dos produtos, inadequação das viaturas para viagens de longa distância, elevada probabilidade de ocorrência de acidentes e congestionamentos, entre outros (Carvalho et al., 2012; Engström, 2016).

2.2.1.2 Custos associados

O transporte rodoviário de mercadorias consome recursos que, como efeito, originam diversos tipos de custos (Carvalho et al., 2012). Os custos de transporte de mercadorias tornaram-se num dos indicadores económicos mais relevantes na medição da eficiência da CA, e podem ser agrupados em três grupos (Izadi et al., 2020):

- **Custos operacionais:** Internos às empresas e englobam as despesas administrativas diárias. Incluem custos fixos de posse de viaturas parados e disponíveis (seguro da

viatura, taxa de licença do motorista, despesas gerais) e custos variáveis de movimentação da carga (combustível, lubrificantes, pneus, manutenção);

- **Custos associados ao valor do tempo de transporte:** Podem ser divididos em custos relacionados com o tempo de viagem e com a qualidade do serviço, confiança na empresa, flexibilidade, entre outros;
- **Custos externos às empresas:** Não são suportados diretamente pelo transportador e podem ser motivo de divergência entre a decisão dessa empresa e os custos impostos à sociedade. Estão relacionados com fatores ambientais (poluição ambiental, sonora, do ar e da água), congestionamentos e acidentes.

Quanto ao transporte rodoviário de mercadorias, os custos fixos de posse de viaturas são mais reduzido que os custos variáveis de movimentação de carga, embora estes também não sejam considerados muito elevados face a outros modos de transporte. Apesar de serem vários os fatores que influenciam os custos deste serviço, a distância percorrida e o volume da carga transportada são os que têm um maior impacto (Carvalho et al., 2012; Izadi et al., 2020).

2.2.2 Subcontratação do serviço de transporte

A subcontratação consiste na transferência, por parte de uma empresa, da responsabilidade de uma atividade para outra empresa que presta esse serviço logístico, com o objetivo de ganhar diversos benefícios (Costa et al., 2010; Rushton et al., 2014). Relativamente ao transporte rodoviário, nos benefícios das empresas que optam pela subcontratação incluem-se a diminuição de custos fixos e operacionais, melhoria da qualidade, aumento da flexibilidade do serviço e oportunidade de focar os seus recursos nas atividades mais críticas. No entanto, também existem riscos associados, como a perda de controlo de certas operações, diminuição da capacidade de resposta às necessidades específicas dos clientes e custos associados à subcontratação (Bertalero et al., 2020; Costa et al., 2010).

2.2.3 Transporte rodoviário de mercadorias em Portugal

Em 2017, 30,6% do volume total das importações e 39,1% das exportações em Portugal foram feitas através do transporte rodoviário de mercadorias, tendo sido ultrapassado apenas pela via marítima. Contudo, os níveis de investimento nas instalações de transporte reduzidos, os novos padrões de mobilidade e o aumento da utilização de combustíveis limpos apresentam desafios para o atual sistema de transporte (DG MOVE, 2019).

Adicionalmente, no final de 2019, início de 2020, surgiu um vírus respiratório extremamente transmissível (Covid-19) que atacou, até à data, quase 60 milhões de pessoas em todo mundo (BBC News, 2020). Este surto obrigou à implementação de medidas rigorosas, para evitar a sua propagação, que estão a provocar um impacto negativo em diversas indústrias. De acordo a Associação Nacional das Transportadoras Portuguesas (ANTP), as empresas de transporte de mercadorias estão a sofrer graves repercussões que as colocam numa situação preocupante. A diminuição acentuada de diversas atividades industriais e o encerramento de várias unidades de retalho originam frotas inativas, sendo que muitas empresas estão a registar quebras acima de 60% em toda a sua atividade. A criação de medidas de segurança rígidas para a circulação estão a provocar atrasos no transporte de mercadorias (Pereira, 2020).

Não obstante, segundo estimativas da Informa D&B (2020), nem todos os setores estão a sofrer o mesmo impacto pela pandemia. A empresa mostra que os setores da indústria e distribuição alimentar são das atividades que apresentam menores variações, por estarem associados a bens de primeira necessidade. Deste o início de abril, a Transportes Paulo Duarte sofreu uma paragem superior a 50% da sua atividade. Contudo, por operar maioritariamente no setor alimentar, não está a sofrer quebras tão acentuadas como alguns dos seus concorrentes (Pereira, 2020).

2.3 LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

O estudo da localização das instalações tem vindo a intensificar-se desde finais do século XIX, inícios do século XX, e consiste em decidir onde localizar uma ou múltiplas instalações, de modo a atingir um ou vários objetivos e a cumprir um determinado conjunto de restrições. Habitualmente, este planeamento é mais crítico a nível estratégico, dado o seu impacto a longo prazo no desempenho das empresas, no serviço ao cliente e por implicar investimentos elevados, como na compra de terrenos (Kwon et al., 2020).

2.3.1 O estudo da localização de instalações

A correta definição da localização de uma instalação melhora o desempenho da CA e, consequentemente, o nível de serviço ao cliente, com menores custos associados (Balcik & Beamon, 2008). A atividade logística associada à localização de instalações requer a aplicação de problemas específicos que foram evoluindo ao longo de décadas (Costa et al., 2010).

2.3.1.1 Recolha de dados

Durante o estudo da localização, é necessário considerar diversos fatores, como: i) as instalações já existentes; ii) os custos de transporte, instalação, construção e mão-de-obra; iii) acessibilidades; iv) proximidade de potenciais clientes e/ou fornecedores; v) proximidade das comunidades e respetivas características socioeconómicas; vi) características geográficas, geológicas e meteorológicas dos locais; vii) e a legislação aplicável. A recolha dos dados é então fundamental para a aplicação do problema, destacando-se os seguintes (Costa et al., 2010):

- Atual localização dos clientes, fornecedores e outras entidades relevantes para o estudo;
- Localização de instalações já existentes;
- Produtos a analisar por cliente, e respetiva procura estimada;
- Modos de transporte a usar e respetivos custos;
- Custos das instalações, sejam associados à compra de terreno, construção, disponibilidade, mão-de-obra, transporte, impostos e seguros aplicáveis;
- Restrições orçamentais;
- Objetivos a alcançar.

Na maioria dos casos, o conjunto de dados é demasiado extenso, o que torna a análise mais complexa. Para reduzir a quantidade de informação, pode ser necessário agregá-la, sendo exemplo a agregação de clientes que pertençam à mesma zona geográfica, analisando-se apenas um cliente-tipo, ou a de produtos similares em grupos de produtos (Costa et al., 2010).

2.3.1.2 Classificação dos problemas de localização de instalações

Os problemas de localização de instalações podem ser classificados de diferentes maneiras (Costa et al., 2010; Kasilingam, 1998; Klose & Drexl, 2005; Kouvelis & Yu, 1997; Kwon et al., 2020; Snyder, 2006; Tompkins et al., 2010):

- **Determinísticos:** Consideram que os dados são conhecidos com 100% de certeza;
- **Com incerteza:** Contrariamente aos determinísticos, introduzem um certo nível de incerteza associada aos dados, sendo possível distinguir:
 - › Problemas estocásticos (sob risco) – Incerteza pode ser modelada por parâmetros aleatórios com distribuições de probabilidade (discretas ou contínuas) conhecidas;
 - › Problemas sob incerteza – Nestes problemas, os parâmetros são incertos e a informação sobre as distribuições de probabilidade não está disponível. Em alternativa, consideram uma medida de flexibilidade (robustez) que permite

determinar soluções aproximadamente ótimas em contextos de incerteza, considerando a atitude do decisor.

- **Estáticos:** O horizonte temporal, e qualquer alteração dos dados em função do tempo, não é considerado;
- **Dinâmicos:** Contrariamente aos problemas estáticos, têm em conta um ou vários horizontes temporais, assim como a alteração das características das instalações ao longo do tempo. Neste caso, para além de ser preciso decidir onde localizar, é necessário determinar quando abrir/fechar as instalações. Normalmente, estes tipos de problemas são mais utilizados quando a decisão envolve grandes investimentos;
- **Discretos:** A solução (localização) consiste num conjunto discreto de pontos;
- **Contínuos:** As instalações estão localizadas em qualquer ponto num espaço aberto e contínuo;
- **Definidos no plano:** Utilizam um sistema de coordenadas para localizar a instalação em qualquer ponto desse sistema. Para tal, é necessário calcular as distâncias entre pontos através de uma métrica, como a euclidiana ou retilínea, ou mesmo a distância real do percurso. Adicionalmente, o número de localizações a estudar não precisa de ser finito;
- **Definidos em rede:** Geralmente, a distância entre dois pontos é determinada através do caminho mais curto. Contrariamente a problemas definidos no plano, o número de clientes e de instalações a localizar são finitos, embora possa ser elevado;
- **Com um objetivo (mono-objetivo):** Analisam apenas uma única função objetivo.
- **Com vários objetivos (multiobjetivo):** Abrangem diversos objetivos simultaneamente;
- **Considerando um produto/serviço:** Apenas têm em conta um tipo de produto/serviço (homogéneo) a ser fornecido pela instalação a localizar, de modo a que a procura dos clientes seja considerada idêntica e possa ser agrupada;
- **Considerando vários produtos:** Consideram vários produtos com características e procuras diferentes;
- **Com ou sem capacidade:** Podem, ou não, ter em conta a capacidade máxima das instalações. Caso tenham, a alocação da procura tem de ser feita sem exceder essa capacidade (restrição);
- **Com cobertura:** Localizam instalações que proporcionam um serviço onde podem existir clientes que apenas conseguem usufruir desse serviço se estiverem a uma determinada distância da instalação.

Para a afetação de clientes a instalações/equipamentos, existem ainda (Costa et al., 2010):

- **Problemas de afetação:** A afetação dos clientes a uma ou mais instalações/equipamentos define-se à priori (antes de se considerar a incerteza na procura);
- **Problemas de escolha do consumidor:** Através de uma certa função utilidade, cada cliente pode escolher livremente as instalações/equipamentos a ser alocados.

2.3.2 Evolução do problema de localização simples

Embora não sejam mencionados na sua totalidade, dada a complexidade e o elevado número de estudos científicos realizados, foram desenvolvidos diversos problemas e metodologias para resolver problemas matemáticos de localização.

2.3.2.1 Do problema de Weber ao de localização simples

Os primeiros desenvolvimentos de planeamento de áreas úteis para produção foram simples, baseando-se apenas nos custos de transporte (Kasilingam, 1998). Em 1909, surgiu o primeiro estudo teórico científico, desenvolvido por Alfred Weber, que constituiu a génese dos problemas de localização. O autor desenvolveu o problema de Weber para localizar uma única instalação para a produção de apenas um tipo de produto, com o objetivo de minimizar a distância total euclidiana entre essa instalação e um conjunto finito de clientes (Ahmadi-Javid et al., 2017; Shankar et al., 2012).

Para além do desenvolvimento de algoritmos para a resolução do problema simplista de Weber, vários autores também o adaptaram a outros tipos de problemas. Após a introdução dos problemas p -mediana e p -centro por Seifollah Hakimi, em 1964 e 1965, Michel Balinski propôs, em 1965, a primeira formulação de programação linear inteira mista (PLIM) para resolver o problema de localização simples (*Uncapacitated Facility Location Problem*, UFLP), que se tornou num dos mais estudados e impulsionou o desenvolvimento de múltiplos problemas complexos de planeamento de instalações (Armas et al., 2017; Laporte et al., 2015). Ao contrário de outros problemas com nomes inequívocos, o UFLP é referido na literatura sob uma ampla variedade de nomenclaturas compostas por um adjetivo (sem capacidade, simples, ótimo) e um substantivo (planta, armazém, instalação, local). O objetivo deste problema é determinar a localização de um número indeterminado de instalações, minimizando o custo total (Krarup & Pruzan, 1983).

2.3.2.2 Resolução do problema de localização simples

Para a resolução do problema de localização simples, foram desenvolvidas várias técnicas de programação matemática, com diferentes graus de sucesso, e relatados na literatura inúmeros

códigos de programação. Contudo, como a determinação da solução em problemas de grande dimensão, através de métodos computacionais, pode demorar várias horas, ao longo das últimas décadas foram desenvolvidas alternativas matemáticas para ultrapassar esta limitação, sendo possível referir os autores Ahmadi-Javid et al. (2017), Armas et al. (2017) e Byrka (2007) por apresentarem uma vasta compilação de artigos sobre este tema, menos ou mais adaptados ao problema de localização simples. Existem assim diversas alternativas matemáticas, desde algoritmos para resolver problemas de programação linear, como *branch and bound* (Dupont, 2008), *greedy* (Cheung & Williamson, 2017) e relaxamento de Lagrange (Beltran-Royo et al., 2012), a heurísticas como procura local (Ghosh, 2003), pesquisa tabu (Michel & Van Hentenryck, 2004) e lógica *fuzzy* (Verma et al., 2010), e a simulações (Yigit et al., 2006).

2.3.2.3 Adaptação do problema de localização simples para outros problemas

O problema de localização simples permite modificações que o aproximam de uma modelação mais realista, razão pela qual, ao longo dos anos, foi adaptado a diversas situações, dando origem a problemas hierárquicos de localização, problemas estocásticos ou sob incerteza, problemas de localização de instalações multicritério ou multi-período, de cobertura, competitivos, de localização de *hubs* ou de instalações *online*, entre muitos outros (Ahmadi-Javid et al., 2017; Laporte et al., 2015). Existem também problemas que integram decisões de localização com outras decisões logísticas essenciais, surgindo problemas de localização-alocação, localização-armazenagem, localização-planeamento de rotas, localização-planeamento de rotas-armazenagem e localização-armazenagem-preço (Ahmadi-Javid et al., 2017). Todas estas evoluções foram motivadas pela elevada complexidade associada a problemas de localização (Costa et al., 2010).

2.3.3 Áreas de aplicação

O estudo da localização possui uma ampla gama de aplicações. Os problemas de localização de instalações são frequentemente utilizados com sucesso em diversas áreas, tais como: projeção de redes logísticas (Melo et al., 2006); telecomunicações (Gollowitzer & Ljubić, 2011); planeamento de rotas (Chao, 2002); transporte (Fazayeli et al., 2018); e saúde, embora para a localização de instalações destinadas a serviços de emergência seja mais comum a aplicação de problemas de cobertura (Marić et al., 2015). O problema é ainda utilizado nas mais variadas indústrias, desde a do óleo lubrificante (Brahimi & Khan, 2014), à autoconfiguração de redes de sensores sem fio (Frank & Römer, 2007), à indústria computacional (Lazic et al., 2009), entre outras. Atualmente, o estudo de localizações é um campo bastante ativo e bem estabelecido, com uma identidade e

comunidade científica próprias. Dentro dos problemas de localização, é possível observar certos ramos a serem cada vez mais estudados, como problemas multicritério de localização de instalações (Mavromatidis et al., 2018), localização de instalação multi-período sob incerteza (Marín et al., 2018), localização-planeamento de rotas (Beneventti G. et al., 2019) e problemas competitivos de localização considerando a incerteza na decisão (Abensur et al., 2020).

Segundo Verter (2011), embora o problema de localização simples seja aplicado em diversas situações, o contexto de aplicação mais comum é no planeamento da CA de produtos funcionais eficientes. Contudo, pode não ser adequado no contexto de CA reativas, que lidam frequentemente com produtos inovadores, onde fatores como *skills*, informações e proximidade de mercados são tão importantes de incluir nos problemas como os fatores de redução de custos. A falta de introdução desses aspetos na maioria dos problemas de localização discretos, torna necessário aperfeiçoar a sua modelação para melhor representarem, na prática, fatores importantes para as empresas e cada indústria em específico.

Armas et al. (2017) propuseram uma solução inovadora para o problema de localização simples com custos estocásticos, ao combinar técnicas de simulação com metaheurísticas (algoritmo simheurístico). Esta abordagem permitiu a introdução de diversos objetivos e a geração de várias soluções alternativas, cada uma oferecendo valores diferentes para cada parâmetro considerado.

Fazayeli et al. (2018) apresentaram um problema de localização-planeamento de rotas, no contexto de CD, que permitiu determinar as rotas multimodais entre o fornecedor e os CD, localizar as instalações destinadas à intermodalidade, localizar os CD e determinar as viagens de entrega do produto desses centros aos vendedores. O problema utiliza programação linear inteira, juntamente com um algoritmo genético, na resolução.

Como resposta à escassez de problemas de localização a nível internacional, Boujelben & Boulaksil (2018) desenvolveram um problema de localização de instalações internacional, dinâmico e estocástico, aplicando uma formulação tipo PLIM, e demonstraram que a junção destes fatores pode influenciar as decisões estratégicas a tomar. Adicionalmente, concluíram que, se a taxa de crescimento da procura for incerta, é preferível considerar a versão estocástica do problema em vez da determinística.

Beneventti et al. (2019) apresentaram um problema capaz de analisar, em simultâneo, a localização de instalações perigosas e a definição de rotas de materiais perigosos (MP) numa grande e densamente povoada zona urbana, aplicando uma programação multi-objetivo. O problema foi testado na rede de transporte rodoviário da cidade de Santiago, no Chile, e apresentou resultados promissores. Ainda no âmbito do transporte de materiais perigosos, Liu &

Kwon (2020) desenvolveram um problema de otimização que simultaneamente otimiza a localização das instalações e o *design* da rede. O problema usa a otimização sob incerteza para estudar as flutuações da procura e da exposição a substâncias perigosas. A metodologia exata aplicada mostrou ser bastante eficiente na resolução de problemas sob incerteza que combinam a localização com o *design* de instalações.

Adeleke & Ali (2020) propuseram um novo problema localização de cobertura que determina, de modo eficiente, a localização ótima de locais de recolha de resíduos em zonas urbanas residenciais, de modo a que todos os “clientes” sejam cobertos. O problema fornece uma solução melhorada onde a triagem dos resíduos é feita no ponto de recolha e pode ser adaptado para outros problemas relacionados com indústrias produtivas.

2.4 PROBLEMAS ESTOCÁSTICOS E SOB INCERTEZA NO CONTEXTO DA LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

Muitas vezes, o estudo da localização envolve um certo nível de incerteza, seja associada à procura, custos, preços ou outro parâmetro (Sahinidis, 2004). Diversos estudiosos distinguem os problemas de localização estocásticos e sob incerteza na tomada de decisão, que posteriormente serão comparados com maior detalhe. Para qualquer problema de localização, os gestores procuram encontrar a solução com o melhor desempenho sob qualquer realização possível dos parâmetros aleatórios (Armas et al., 2017). Neste tipo de problemas é essencial definir alguns aspetos (Keddell, 2017; Laporte et al., 2015; Snyder, 2006; Wagner et al., 2009):

- **Parâmetros sob incerteza:** Podem ser discretos ou contínuos;
- **Informação probabilística:** Pode ser conhecida ou não;
- **Cenários:** Podem ser utilizados quer existam, ou não, probabilidades;
- **Número de cenários:** Pode ser finito ou infinito;
- **Atitude do decisor face ao risco:** Existem três categorias principais que refletem diferentes atitudes:
 - › Neutro ao risco – O decisor não considera o risco do problema, i.e., o risco de potenciais falhas na definição inicial da localização das instalações. O objetivo é minimizar/maximizar o valor esperado da solução (custos, lucro ou utilidade);
 - › Adverso ao risco – O decisor pretende evitar riscos desnecessários, considerando-o no problema (atitude conservadora). Neste caso, o decisor pode optar por minimizar o custo máximo em todos os cenários ou pela aplicação de medidas

de risco, como o valor em risco. Um exemplo de um critério de decisão para este tipo de atitude mais pessimista é o critério de decisão *minimax*;

- › Propenso ao risco – O decisor considera a solução que pode trazer o maior benefício. Aqui, o decisor pode optar por maximizar/minimizar o retorno/custo considerando o melhor cenário. Um exemplo de um critério de decisão para este tipo de atitude mais otimista é o critério de Hurwicz;

– Decisões:

- › *Ex ante* (1ª etapa) – Decisões que têm de ser tomadas antes de ser revelada a incerteza. Normalmente a localização das instalações é determinada nesta fase;
- › *Ex post* (2ª etapa) – Decisões tomadas depois de ser revelada a incerteza. Habitualmente, é nesta altura que se afetam os clientes às instalações.

2.4.1.1 Análise por cenários

Segundo Laporte et al. (2015), cada cenário determina, na totalidade, o valor de todos os parâmetros aleatórios e são independentes da existência, ou inexistência, de informações probabilísticas. Dependendo do problema, pode existir um conjunto finito ou infinito de cenários, definidos de maneira discreta ou contínua (através de intervalos), influenciando o problema e as técnicas a aplicar (Aissi et al., 2009). A análise por cenários possui algumas desvantagens (Snyder, 2006):

- Dificuldade na identificação de cenários;
- Elevada complexidade na definição da probabilidade de ocorrência de cada cenário;
- O elevado número de cenários dificulta a análise computacional. Em contrapartida, um número reduzido de cenários limita a quantidade de acontecimentos futuros em estudo.

Contudo, também apresenta vantagens (Meissner, 2013; Snyder, 2006):

- Regra geral, a abordagem por cenários resulta em problemas mais tratáveis a nível computacional;
- Permite definir parâmetros estatisticamente dependentes. A dependência entre acontecimentos futuros é frequentemente necessária para modelar a realidade, visto que as procuras podem correlacionar-se entre períodos de tempo ou regiões geográficas e os custos podem relacionar-se entre fornecedores;
- O planeamento estratégico da localização de instalações baseado em cenários proporciona estratégias flexíveis, aumentando a qualidade das decisões tomadas pelas empresas.

2.4.2 Problemas estocásticos

Os problemas estocásticos são aplicados em diversos campos profissionais e acadêmicos, por permitirem responder devidamente a situações reais. Para a sua aplicação, podem utilizar-se algoritmos especificamente desenvolvidos para o problema ou técnicas gerais de programação estocástica (Boonmee et al., 2017; Snyder, 2006). Estes problemas podem dividir-se em (Birge & Louveaux, 2011; Laporte et al., 2015; Snyder, 2006):

- **Problemas de recurso** (*resource models*): Nas decisões *ex post*, são aplicadas medidas corretivas para compensar a não satisfação de todas as restrições, após revelada a incerteza;
- **Problemas probabilísticos** (*chance-constrained programming*): Definem as restrições *ex post* através de probabilidades, de modo a determinar o problema equivalente determinístico e as suas propriedades. Assim, evitam-se decisões de recurso, tornando possível a não satisfação de algumas restrições e a introdução de medidas de risco.

2.4.3 Problemas sob incerteza

Os problemas sob incerteza são adequados em situações onde o critério “ótimo” não é suficiente para representar os objetivos das empresas, dada a presença da incerteza na procura (Kouvelis & Yu, 1997). Laporte et al. (2015) começa por assumir que a incerteza fica bem definida por um conjunto finito de cenários. De acordo com Laporte et al. (2015) e Snyder & Daskin (2006), geralmente os problemas sob incerteza podem categorizar-se da seguinte maneira:

- **Problemas de arrependimento** (*regret models* ou *opportunity loss models*): Minimizam, ou limitam, a diferença entre o valor da solução escolhida e o valor da melhor solução para cada cenário. Esta diferença é referida como arrependimento e pode definir-se em valor absoluto ou percentual. O critério de decisão *minimax* da oportunidade perdida e o problema *p*-robustez são alguns exemplos;
- **Problemas de variabilidade** (*variability models*): Determinam uma solução quase ótima e pouco sensível às incertezas do problema, i.e., minimizar/maximizar o custo/lucro esperado e reduzir a variabilidade dos cenários. Estes problemas medem a variabilidade, ao invés do arrependimento, através da variância ou do desvio padrão, tornando a função objetivo não linear.

Os critérios de decisão sob incerteza também são bastante utilizados para resolver problemas sob incerteza. Para além do critério *minimax* da oportunidade perdida, Pažek & Rozman (2009) e

Xidonas et al. (2017) introduzem outros critérios de decisão como o *minimax*, *maximax*, *maximin*, Laplace e Hurwicz, sendo que os mais aplicados no contexto da localização de instalações são os critérios *minimax* e o *minimax* da oportunidade perdida. Existem ainda outros problemas mais complexos para resolver este tipo de situações, como problemas de recurso restrito e o critério *α -reliable minimax regret* (Snyder, 2006). Devido à sua elevada complexidade, não serão referidos nesta dissertação.

2.4.3.1 Critério *minimax*

O critério *minimax* determina soluções que permitem obter o melhor desempenho na pior situação possível, minimizando o custo máximo em todos os cenários. O critério adequa-se a situações onde é crítico que o sistema funcione corretamente, como na determinação da localização de quartéis de bombeiros, embora seja mais aplicado no âmbito académico do que em situações reais (Aissi et al., 2009; Snyder, 2006).

2.4.3.2 Critério *minimax* da oportunidade perdida

O critério *minimax* da oportunidade perdida determina o máximo arrependimento em todas as decisões possíveis, onde esse arrependimento é a diferença entre o custo/benefício da melhor alternativa no cenário S_j e o custo/benefício da alternativa escolhida pelo decisor (A_i) se S_j ocorrer, ou seja, é a quantificação da possível perda associada à tomada de uma decisão se um dado cenário ocorrer. Assim, se a ação escolhida garantir o melhor retorno ou menor custo, para um dado cenário, a perda de oportunidade é zero. Caso contrário, é superior a zero (Pažek & Rozman, 2009; Snyder, 2006). O *minimax* da oportunidade perdida pode ser calculado (Du et al., 2012):

- **Em valor absoluto:** Minimiza o arrependimento máximo absoluto entre todos os cenários possíveis;
- **Em valor relativo:** Minimiza o arrependimento relativo de maneira a identificar uma alternativa viável com o menor rácio de perda de oportunidade no pior cenário. O arrependimento relativo é menos conservador do que o absoluto, nomeadamente em situações onde o valor ótimo da função objetivo difere bastante entre cenários.

Este critério é aplicado nas seguintes situações (Aissi et al., 2009; Pažek & Rozman, 2009):

- O decisor sente algum tipo de arrependimento se tomar a decisão errada, considerando-o de antemão;

- Situações de incerteza sobre preços e rendimentos, onde o comportamento de alguns agentes económicos pode ser melhor previsto através do critério *minimax* da oportunidade perdida, em oposição ao critério clássico de maximização do lucro;
- O decisor prefere assegurar uma decisão que se comporta da melhor maneira, quando comparada a outras ações, independentemente do cenário;
- O decisor sabe de outros concorrentes que enfrentam problemas semelhantes e tem noção de que o desempenho da sua decisão será comparado ao da sua concorrência.

Embora habitualmente o critério *minimax* da oportunidade perdida seja mais adequado para o estudo da localização de instalações que o *minimax* clássico, Chen et al. (2014) afirmam que isso nem sempre acontece, apresentando um exemplo onde existe uma decisão muito arriscada com bom desempenho num determinado cenário e um desempenho extremamente mau noutro. Nesta situação onde o risco deve ser controlado, este tipo de decisões não é desejável, pois afetam o arrependimento máximo das restantes decisões e distorcem a decisão final, sendo por isso mais aconselhável a aplicação do critério *minimax*.

2.4.3.3 Critério *maximin*

O critério *maximin* compara os piores valores de cada alternativa e escolhe a melhor solução entre eles, i.e., seleciona a alternativa com o melhor desempenho num cenário pessimista, deixando os restantes inexplorados (Park & Um, 2018; Xidonas et al., 2017). Por essa razão, é mais usado quando situações desfavoráveis têm uma elevada possibilidade de ocorrer ou quando decisores cautelosos precisam da garantia de que, nessas situações, exista um determinado retorno mínimo espetável (Pažek & Rozman, 2009). O critério é usualmente aplicado na análise de fluxos positivos, como lucros (Pažek & Rozman, 2009; Xidonas et al., 2017).

2.4.3.4 Critério *maximax*

O critério *maximax* seleciona a solução que origina o melhor resultado possível, comparando os melhores valores em cada decisão e escolhendo a que origina o maior benefício. Este critério adequa-se a decisores que estejam dispostos a correr riscos elevados e que estejam numa posição para resistir a perdas sem grandes inconvenientes (Park & Um, 2018; Pažek & Rozman, 2009).

2.4.3.5 Critério de Laplace

O critério de Laplace baseia-se no Princípio da Razão Insuficiente de Bernoulli e afirma que se não existir nenhuma informação sobre as probabilidades dos cenários, admite-se que são

igualmente prováveis de ocorrer. Deste modo, para n alternativas, a probabilidade de ocorrência de cada uma é $\frac{1}{n}$. O critério calcula o *payoff* esperado para cada alternativa e escolhe a de maior valor. A diferença desta abordagem para aquelas que utilizam os retornos extremos é o facto de usar valores esperados, aproximando-se de problemas estocásticos (Pažek & Rozman, 2009).

2.4.3.6 Critério de Hurwicz

O critério de Hurwicz escolhe o benefício/custo mínimo e máximo para cada decisão, em cada cenário, e determina uma solução intermédia entre aquelas geradas pelos critérios otimista (*maximax*) e pessimista (*maximin*). Para isso, define que o mínimo e máximo ponderados de cada decisão devem ser calculados utilizando o coeficiente de otimismo α ($0 \leq \alpha \leq 1$), que reflete a atitude pessoal do decisor relativamente ao risco, e o coeficiente de pessimismo ($1 - \alpha$) (Homaei & Hamdy, 2020; Park & Um, 2018). O coeficiente α é escolhido subjetivamente pelo decisor e quando maior o seu valor (mais próximo de 1) mais otimista é a decisão (idêntico ao *maximax*). Em oposição, quanto mais próximo de 0, mais pessimista é a decisão (idêntico ao *maximin*) (Park & Um, 2018; Pažek & Rozman, 2009).

A Tabela 2.2 apresenta uma comparação entre os seis critérios de decisão referidos anteriormente, com base na visão dos autores Aissi et al. (2009), Park & Um (2018), Pažek & Rozman (2009), Snyder (2006) e Xidonas et al. (2017).

2.4.4 Problemas estocástico versus sob incerteza

A distinção entre problemas estocásticos e sob incerteza é crucial e permite definir o seu domínio de aplicabilidade (Vladimirou & Zenios, 1997). Geralmente, os problemas estocásticos precisam de uma extensa amostra de dados que requerem estimativas de diversos parâmetros ao longo de vários cenários hipotéticos. Em contrapartida, o problema sob incerteza reduz a carga de dados através da análise de um conjunto de cenários cujas probabilidades, ou mesmo composição, não precisam de ser explicitamente conhecidas (Snyder, 2006). Contudo, esta abordagem pode ser demasiado conservadora, dependendo do tipo de modelação de incertezas (Laporte et al., 2015).

Na prática, a determinação de distribuições de probabilidade para definir as variáveis aleatórias pode ser complexa, pelo que a escolha de problemas sob incerteza, como alternativa aos estocásticos, permite contornar esta limitação, pois não precisam de informação probabilística. Outra dificuldade na programação estocástica surge quando o número de cenários é muito elevado, ou mesmo infinito, gerando problemas mais complexos (Laporte et al., 2015). Já os problemas sob incerteza, ao serem aplicados a situações reais, por vezes também se tornam

relativamente difíceis de resolver, pois a estrutura *minimax*, normalmente considerada nestes problemas, torna-os mais complexos do que os problemas estocásticos (Laporte et al., 2015; Snyder & Daskin, 2006). No âmbito do planeamento de trabalhadores, por exemplo, um problema estocástico planeia um conjunto de trabalhadores que pode ser ajustado (por contratações ou *layoffs*), de modo a responder à procura com o menor custo esperado, embora a sua solução não mantenha a estabilidade do emprego. Em oposição, o problema sob incerteza planeia os trabalhadores de forma a não ser preciso fazer muitos ajustes para lidar com a procura em todos os cenários, apesar da sua solução originar um custo total superior ao da solução do problema estocástico (Vladimirou & Zenios, 1997).

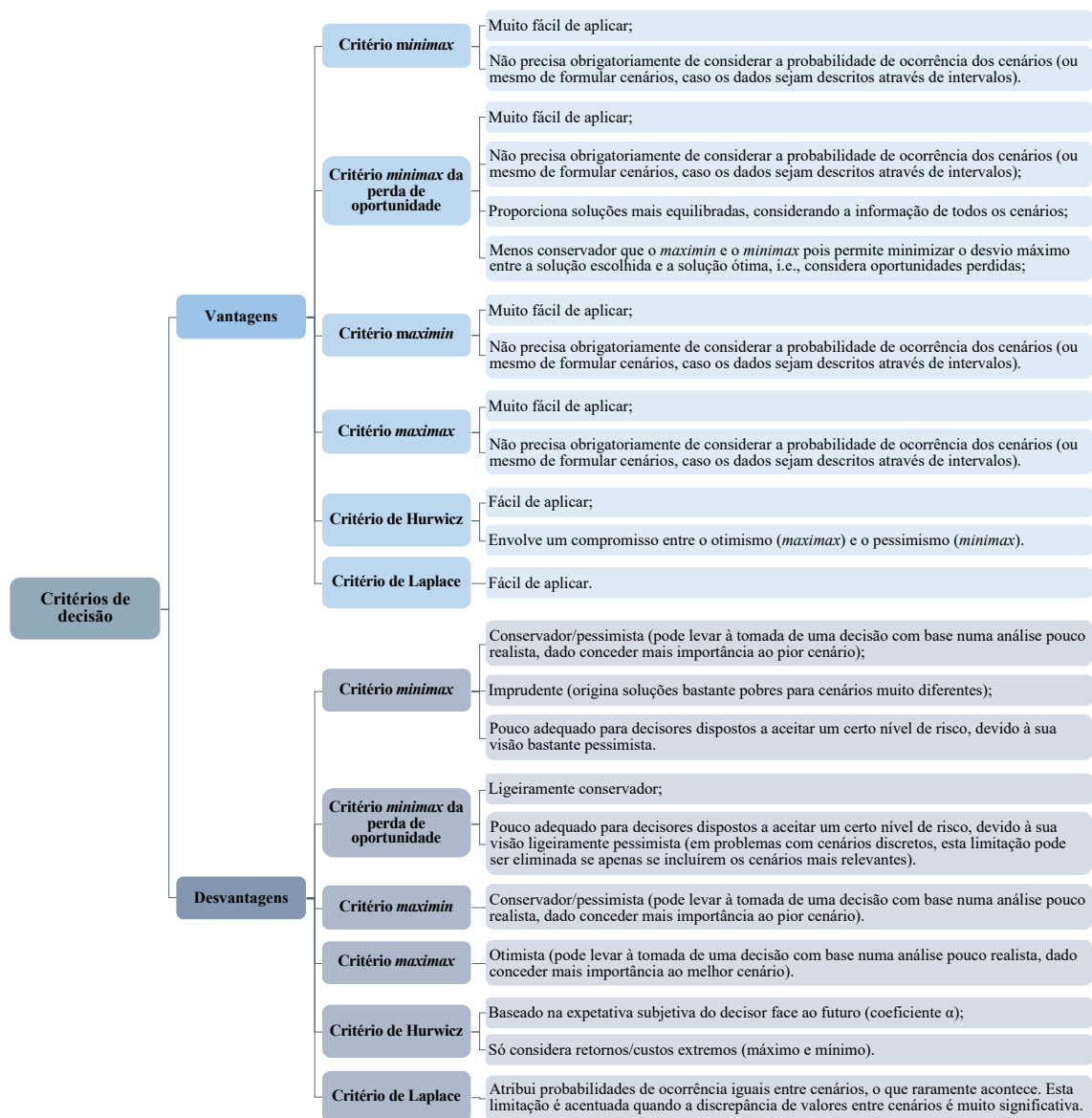


Figura 2.2 - Vantagens e desvantagens dos critérios de decisão aplicados a problemas de localização

Um estudo realizado por Wang & He (2009), com a finalidade de comparar a aplicação de um problema sob incerteza com o estocástico, permitiu concluir que, relativamente às abordagens aplicadas, as soluções dos problemas sob incerteza mostraram-se insensíveis à perturbação dos parâmetros nos diferentes cenários e melhores do que o resultado obtido pelo problema estocástico, reduzindo, assim, o risco da decisão. No entanto, o seu tempo de CPU (*Central Process Unit*) foi mais curto do que o do problema sob incerteza.

Em suma, as formulações estocásticas e sob incerteza ainda apresentam um grande desafio quanto ao esforço computacional necessário para as resolver (Bélanger et al., 2019). Qualquer problema discreto sob incerteza pode ser extremamente complexo. Regra geral, mesmo quando o número de cenários é finito e é possível determinar o problema determinístico equivalente, o problema resultante é um PLIM de grande escala que não pode ser resolvido por um *solver standard*, sendo necessário optar pelo desenvolvimento de abordagens específicas, exatas ou heurísticas (Laporte et al., 2015; Sahinidis, 2004; Snyder, 2006).

2.4.5 O problema de localização simples

Por ser um problema de localização em rede, o problema de localização simples considera custos fixos relacionados com o investimento inicial, tal como a compra do terreno, equipamentos e construção (Kwon et al., 2020; Laporte et al., 2015). O problema analisa ainda custos variáveis que podem ser derivados da alocação de clientes às instalações, como custos de transporte, operacionais ou de realocação (movimentação de equipamentos para a nova localização). O objetivo é decidir onde localizar um número indeterminado de instalações para minimizar o custo total. Na sua essência, este problema é discreto, determinístico e para um único produto e tem a particularidade de não precisar de estabelecer um limite de capacidade para cada instalação, pois considera que cada uma é capaz de satisfazer a procura total dos clientes (Armas et al., 2017; Krarup & Pruzan, 1983). O problema também pode considerar algumas limitações, como a quantidade de locais disponíveis, a procura e o capital total disponível. A complexidade depende dos custos que se consideram e das restrições impostas (Kasilingam, 1998).

Embora certos autores considerem o problema de localização simples como uma das versões mais simples de problemas de localização de instalações, no âmbito da otimização computacional é considerado um problema NP-difícil (computacionalmente mais exigente) e onde é muitas vezes impossível determinar uma solução durante um tempo computacional viável (Armas et al., 2017; Snyder, 2006).

2.4.5.1 Formulação do problema de localização simples determinístico

De acordo com os autores Armas et al. (2017), Costa et al. (2010), Krarup & Pruzan (1983) e Laporte et al. (2015), o problema de localização simples é definido da seguinte maneira:

– Seja:

$I = \{1; \dots; n\}$, Conjunto de potenciais localizações para as instalações;

$J = \{1; \dots; m\}$, Conjunto de clientes, cuja procura precisa de ser satisfeita;

f_i , Custo fixo de localizar uma instalação em i ;

c_{ij} , Custo de afetação do cliente j à instalação localizada em i .

– Variáveis de decisão:

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{caso se localize uma instalação em } i. \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} ;$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{caso se afete o cliente } j \text{ à instalação em } i \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} .$$

– Formulação:

› Função objetivo

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n f_i * y_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} * x_{ij} \quad (2.1)$$

› Sujeita às seguintes restrições

$$x_{ij} \leq y_i \quad , i = 1, \dots, n ; j = 1, \dots, m \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad , j = 1, \dots, m \quad (2.3)$$

$$y_i \in \{0; 1\} \quad , i = 1, \dots, n \quad (2.4)$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\} \quad , i = 1, \dots, n ; j = 1, \dots, m \quad (2.5)$$

A função objetivo minimiza os custos totais (custos fixos, caso seja aberta a instalação i , mais os custos variáveis, caso seja afetado o cliente j à instalação aberta i). O conjunto de restrições 2.2 garante que cada cliente é afeto a instalações que estejam abertas. O conjunto de restrições 2.3 garante que todos os clientes devem ser satisfeitos por exatamente uma instalação. Sendo m o número total de clientes, as restrições 2.2 podem ser substituídas pelo conjunto de restrições agregadas seguinte:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq m * y_i \quad , i = 1, \dots, n \quad (2.6)$$

2.4.5.2 Formulação do problema de localização simples sob incerteza

Introduzindo o fator da incerteza, normalmente associada à procura, cria-se um problema de localização sob incerteza sujeito à ocorrência de diversos cenários s_j onde, para cada um, os parâmetros são determinísticos. Consequentemente, em cada cenário, os processos de localização e alocação podem ser descritos como problemas determinísticos, sendo que o objetivo é encontrar a solução com o melhor desempenho (ou razoavelmente bom) para todos os cenários, i.e., determinar a solução robusta (Averbakh, 2000; Wang & He, 2009).

Seguidamente, serão formulados os critérios de decisão *minimax* da oportunidade perdida e critério de Hurwicz para resolução do problema de localização simples sob incerteza. Para ambos, utiliza-se um modelo normativo que permite representar o problema, simplificar a análise lógica e criar um conjunto de ações recomendadas. Este modelo é formalmente definido por uma matriz $M = \{D, S, C, P\}$ (Tabela 2.1), que pode ser constituída por fluxos negativos (custos e perdas) ou positivos (lucros e receitas) (Pažek & Rozman, 2009):

Onde (Pažek & Rozman, 2009):

- **D**: conjunto de decisões viáveis d_i (para $i = 1, \dots, m$);
- **S**: conjunto de cenários s_j (para $j = 1, \dots, n$);
- **C**: conjunto de retornos/custos c_{ij} devido à escolha da decisão d_i se o cenário s_j ocorrer;
- **P**: probabilidade de ocorrência de cada cenário s_j (este parâmetro nem sempre é necessário para resolver o problema).

Tabela 2.1 - Matriz (M)

Adaptado de: Pažek & Rozman (2009)

D	S			
	S_1	S_2	...	S_n
	P_1	P_2	...	P_n
D_1	C_{11}	C_{12}	...	C_{1n}
D_2	C_{21}	C_{22}	...	C_{2n}
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots
D_m	C_{m1}	C_{m2}	...	C_{mn}

I. Critério minimax da oportunidade perdida

Tanto o critério *minimax* como o *minimax* da oportunidade perdida são usados como objetivos na formulação sob incerteza. A definição de arrependimento leva à transformação da matriz (M)

numa matriz de arrependimentos (A). A versão mais simples para formular os critérios considera uma determinada decisão d_i e um certo cenário s_j , onde o arrependimento é a potencial poupança máxima (na análise de retornos) ou perda associada (na análise de custos) caso o decisor soubesse com certeza que o cenário s_j iria ocorrer, para poder tomar a decisão de acordo com essa informação. Para o cálculo do arrependimento, no caso de custos aplica-se a equação 2.7 e de retornos a equação 2.8.

$$A(d_i, s_j) = C(d_i, s_j) - \min_{d \in D} C(d, s_j) \quad (2.7)$$

$$A(d_i, s_j) = \max_{d \in D} C(d, s_j) - C(d_i, s_j) \quad (2.8)$$

Onde (Chen et al., 2014; Pažek & Rozman, 2009):

- $C(d_i, s_j)$: retorno/custo associado a d_i, s_j ;
- $A(d_i, s_j)$: arrependimento associado a d_i e s_j ;
- $\min_{d \in D} C(d, s_j)$: retorno/custo mínimo da coluna j ;
- $\max_{d \in D} C(d, s_j)$: retorno/custo máximo da coluna j .

De acordo com Averbakh (2000) e Chen et al. (2014), aplicando estas notações e considerando U como o conjunto das incertezas associadas à procura (conjunto de cenários), os critérios *minimax* clássico e os *minimax* da oportunidade perdida absoluto e relativo, no caso de custos, podem ser respetivamente formulados de acordo com as equações 2.9 a 2.11.

$$\min_{d \in D} \left\{ \max_{s \in U} C(d, s) \right\}, \quad (2.9)$$

$$\min_{d \in D} \left\{ \max_{s \in U} A(d, s) \right\} = \min_{d \in D} \left\{ \max_{s \in U} \left\{ C(d, s) - \min_{d' \in D} C(d', s) \right\} \right\}, \quad (2.10)$$

$$\min_{d \in D} \left\{ \max_{s \in U} A_{\text{rel}}(d, s) \right\} = \min_{d \in D} \left\{ \max_{s \in U} \left\{ \frac{C(d, s) - \min_{d' \in D} C(d', s)}{\min_{d' \in D} C(d', s)} \right\} \right\}. \quad (2.11)$$

II. Critério de Hurwicz

No critério de Hurwicz, em vez de se determinar o arrependimento para cada decisão em cada cenário, calcula-se a proporção dos valores mínimo e máximo de cada decisão, para depois se determinar o retorno/custo médio ponderado (H) de cada uma através da soma dessas proporções. Para retornos, a proporção do valor máximo é calculada pelo produto entre o índice α (definido inicialmente) e os valores máximos de cada decisão em cada cenário, enquanto a proporção do valor mínimo é determinada pelo produto do coeficiente $(1-\alpha)$ pelos valores mínimos. Para custos

processa-se ao contrário. Assim, a matriz (M) não inclui as probabilidades de ocorrência de cada cenário e os valores de C representam as proporções dos valores máximos e mínimos. Para fluxos positivos, a solução é a que maximiza o valor de H (equação 2.12). Para fluxos negativos, a solução é a que minimiza H (equação 2.13) (Homaei & Hamdy, 2020; Pažek & Rozman, 2009).

$$\max_{d \in D} (H(d, s)) = \max_{d \in D} ((1 - \alpha) * \min_{s' \in U} C(d, s') + \alpha * \max_{s' \in U} C(d, s')) \quad (2.12)$$

$$\min_{d \in D} (H(d, s)) = \min_{d \in D} (\alpha * \min_{s' \in U} C(d, s') + (1 - \alpha) * \max_{s' \in U} C(d, s')) \quad (2.13)$$

2.4.6 Áreas de aplicação

Os critérios de decisão são aplicáveis numa vasta gama de problemas, visto proporcionarem meios para uma análise formal e sistemática que permite ao decisor escolher a opção que mais se adequa à sua atitude face à incerteza (Xidonas et al., 2017). Seguidamente, apresentam-se algumas aplicações práticas dos critérios *minimax* da oportunidade perdida e Hurwicz.

2.4.6.1 Critério *minimax* de oportunidade perdida

Du et al. (2012) desenvolveram uma análise inexata para o critério *minimax* da oportunidade perdida relativo (*Inexact Minimax Relative Regret Analysis*, IMPA), no contexto do planeamento da gestão da água agrícola sob incerteza e aplicada a um caso real na China. O critério incorpora intervalos de confiança com o critério de decisão, dentro de uma estrutura de programação inteira. Os autores verificaram que o IMPA demonstrou compensações complexas entre o benefício do sistema, a penalização económica e o valor do arrependimento relativo. Concluíram ainda que as variações nos resultados da disponibilidade de água e nas estratégias de alocação de água podem levar a vários benefícios do sistema e valores de arrependimento relativo. Este, por sua vez, pode aumentar juntamente com uma disparidade elevada entre a disponibilidade de água prevista e real. Os resultados indicaram que o IMRA é uma ferramenta eficaz para identificar as alternativas ótimas e pode ser aplicado a outros problemas de gestão ambiental.

Chen et al. (2014) propuseram dois problemas de otimização sob incerteza, através da análise de cenários, para o planeamento da expansão das instalações de transmissão de energia eléctrica, onde o custo e o arrependimento máximos para o plano de expansão são minimizados. Os autores concluíram que ambos os critérios *minimax* e *minimax* da oportunidade perdida podem ter um melhor desempenho, dependendo do conjunto de incertezas e da atitude do decisor.

Mohammadi et al. (2016) estudaram um problema de projecção de redes logísticas por meio de um problema de localização de *hubs* (HLP), aplicando o critério *p*-robustez de único objetivo (*p*-

SRHLP), com o objetivo de minimizar o custo nominal, sujeito à restrição de que a solução deve ter um arrependimento máximo inferior p em cada cenário. Os autores compararam o resultado obtido por este problema com os obtidos pelos critérios *minimax* e *minimax* arrependimento, tendo verificado que a abordagem proposta obteve soluções menos conservadoras que as dos critérios de decisão tradicionais.

2.4.6.2 Critério de Hurwicz

No contexto dos problemas de localização-alocação, Wen & Iwamura (2008) criaram o critério α -custo, sob o critério de Hurwicz, com procura *fuzzy* (difusa) e desenvolveram um algoritmo inteligente híbrido (integra os algoritmos *simplex* e genético e simulações *fuzzy*) para o resolver. Após aplicarem exemplos numéricos ao problema, os autores verificaram que este pode lidar com problemas mais práticos ao variar o valor λ (reflete o equilíbrio entre o valor otimista e o pessimista do custo total de transporte). Concluíram também que o algoritmo desenvolvido é robusto às configurações de parâmetros do algoritmo genético e eficaz para resolver o problema sob o critério de Hurwicz.

Lau et al. (2010) propuseram um problema de localização *fuzzy* para otimizar a projeção do sistema de distribuição *e-commerce* em *Business to customer* (B2C), considerando as características das organizações B2C no mercado competitivo e utilizando variáveis *fuzzy* na representação da incerteza do custo de entrega, oferta do mercado e procura. Os autores verificaram que o problema pode funcionar bem, mesmo com falta de dados históricos, e que o critério de Hurwicz é mais flexível do que os critérios otimistas ou pessimistas, fornecendo melhores orientações teóricas para os decisores.

Diba & Xie (2019) utilizaram o método *Grey Relational Analysis* (GRA), combinado com o critério de decisão de Hurwicz na análise da incerteza, no estudo dos melhores fornecedores para a Satrec Vitalait Milk Company, no Senegal, tendo por base as dimensões económica, ambiental e social da gestão sustentável da CA. De entre as várias conclusões, os autores verificaram que os resultados obtidos pelo critério de Hurwicz são injustos para alguns fornecedores, uma vez que este não considera os valores relativamente elevados e reduzidos do conjunto, e que muitos possuíam valores médios ou relativamente elevados para os seus critérios de julgamentos. Não obstante, a aplicação do método e do critério em conjunto permitiu confirmar os resultados obtidos, aumentando a sua confiabilidade e evidenciando o rigor do estudo.

2.4.7 Análise de sensibilidade

Contrariamente às abordagens construtivas anteriores para controlo de incertezas (secção 2.4.3), a análise de sensibilidade (AS) não proporciona um critério de otimização, mas sim uma abordagem reativa para controlo de incertezas que mede a sensibilidade da solução a variações dos *inputs*, sendo por isso considerada um método inferior (Nikoofal & Sadjadi, 2010; Vladimirov & Zenios, 1997). Não obstante, é um modelo fundamental de suporte à decisão, pois permite retirar o máximo de informação de métodos quantitativos (Borgonovo & Peccati, 2008). Dependendo da área de aplicação, a AS pode lidar com problemas de programação linear, árvores de decisão, modelos probabilísticos de análise de risco, entre outros (Borgonovo & Peccati, 2008). A AS possui duas particularidades: i) é apenas aplicável depois de determinar a solução; ii) e não é possível analisar variações que provoquem mudanças consideráveis na solução, pois perdem valor prático por se desviarem demasiado do ponto de partida da AS (Monahan, 2000).

Uma das ferramentas computacionais mais utilizadas para resolver problemas de PL, e consequentemente realizar a AS, é o suplemento *solver* do Microsoft Office Excel, embora problemas de grande dimensão necessitem de ferramentas mais avançadas deste tipo. Ao realizar a AS através do *solver*, é gerado um relatório de resposta com informação sobre as variáveis de decisão e as restrições do problema. A tabela sobre essas variáveis apresenta as seguintes informações (Monahan, 2000):

- **Célula** selecionada na janela do suplemento *solver*;
- **Nome da variável** da célula selecionada;
- Valor da solução;
- **Custo reduzido:** Aplica-se a variáveis de decisão com custo zero na função objetivo (FO), podendo ser interpretado como a taxa de variação na FO quando a variável de valor zero é obrigada a ter valor unitário, ou como o menor aumento possível no coeficiente da variável de decisão na FO para que passe a constituir na solução ótima;
- Coeficiente da variável selecionada na FO;
- **Aumento e diminuição admissível** (sem que a solução ótima se altere).

Relativamente à tabela sobre as restrições, é devolvida a seguinte informação (Monahan, 2000):

- **Célula** selecionada na janela do *software solver*;
- **Nome da variável** da célula selecionada;
- **Valor final** que a solução provoca no recurso representado pela restrição;
- **Preço sombra:** Taxa de variação no valor ótimo da FO por cada aumento unitário do lado direito da restrição;

- Limite da restrição;
- Aumento e diminuição admissível.

Obtidos os resultados da AS, é possível realizar diferentes análises/ajustes à solução ótima, com o intuito de compreender melhor as alterações que podem ser feitas sem que esta se altere. Assim, dependendo do problema, podem ser realizadas as seguintes modificações (Monahan, 2000):

- **Ajustes nos coeficientes das variáveis da FO:** Através dos resultados presentes na tabela sobre as variáveis de decisão, é possível perceber em que quantidade se pode aumentar/diminuir os coeficientes sem alterar a solução ótima, embora com a consequência de variar o custo total;
- **Análise do custo reduzido:** Pelo valor do custo reduzido, presente na tabela das variáveis de decisão, é possível determinar a variação mínima que se pode provocar ao coeficiente da função objetivo para que a variável passe de possuir um valor nulo para unitário, fazendo parte da solução ótima;
- **Aumento/diminuição das restrições determinantes e não determinantes:** A análise destes dois tipos de restrições deve ser feita em separado pois possuem diferentes características e a sua variação também produz consequências distintas. O decisor deve perceber quais são as restrições determinantes e não determinantes, para se poder focar no investimento na capacidade das primeiras. É relevante salientar que esta análise varia com o problema, pois nem sempre é adequada a alteração de determinadas restrições. As restrições podem ser definidas como:
 - › Restrições determinantes: Para cada variável, definem-se através da comparação entre o valor final e o limite da restrição. A sua alteração pode mudar os resultados obtidos;
 - › Restrições não determinantes: São caracterizadas por permitirem diminuições infinitas, sem que a solução se altere, e por terem preço sombra igual a zero. Contudo, esta última particularidade não significa que as restrições determinantes tenham sempre preços sombra não nulos;
- **Análise do preço sombra:** Através da análise da tabela das restrições é possível verificar de que forma varia a FO com a alteração do lado direito das restrições, sendo que as restrições determinantes com um preço sombra mais elevado são as que provocam um maior impacto na FO. Do ponto de vista da gestão, o decisor deve focar-se no aumento/diminuição da capacidade destes recursos, de modo a aumentar/diminuir o lucro/custos, respetivamente, da maneira mais eficaz.

3 METODOLOGIA PROPOSTA PARA A ESCOLHA DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES SOB INCERTEZA

O problema científico em questão, referente ao estudo da localização de instalações destinadas ao estacionamento de viaturas de transporte de mercadorias alimentares, requer a aplicação de problemas de localização de instalações sob incerteza e de critérios de decisão. Através da revisão da literatura, verificou-se que existem diversas metodologias, cada uma adaptada às diferentes características dos problemas. A dissertação baseou-se no problema de localização simples (UFLP), complementado pelos critérios de decisão na incerteza *minimax* da oportunidade perdida e Hurwicz. Este capítulo apresenta a formulação do problema e descreve a metodologia proposta para o estudo da localização, de maneira a que sejam cumpridos os objetivos definidos no subcapítulo 1.3.

3.1 FORMULAÇÃO

O estudo que se propõe analisa as possíveis localizações para a zona de estacionamento de viaturas, destinadas ao transporte de produtos alimentares. Para tal, é desenvolvido um problema de programação linear base (inicial) a partir do UFLP. Por sua vez, este problema é alterado para que permita analisar diversos aspetos relevantes para o estudo, nomeadamente os custos de deslocação dos motoristas às instalações, a possibilidade de se manterem as instalações atuais e adquirir mais uma e a de se liquidar uma ou várias instalações, dando origem a cinco abordagens diferentes para o mesmo problema.

3.1.1 Problema de localização simples

Primeiramente, é necessário decidir onde localizar a instalação, através da aplicação do problema de localização simples determinístico (de programação linear, PL). O problema de localização simples (ou *Uncapacitated Facility Location Problem*, UFLP) considera que existe um conjunto de clientes, cuja procura tem de ser satisfeita, e um conjunto de possíveis localizações para as instalações. O problema admite que as instalações possuem um limite máximo de capacidade elevado o suficiente para responder à procura (Armas et al., 2017). Isto significa que num problema deste tipo, onde existem viaturas que realizam o serviço de transporte ao cliente (respondem à procura), as instalações têm de ter capacidade para as albergar a todas.

3.1.1.1 Definição do problema de PL base

O problema de PL aplicado apresenta algumas alterações face à formulação clássica do UFLP, apresentada na secção 2.4.5.1, nomeadamente a introdução da variável procura (d_j) e utilização de concelhos (em vez de clientes) no vetor J . Consequentemente, o custo (c_{ij}) e a função objetivo também se alteram. O problema base utilizado neste estudo é definido da seguinte maneira:

– Seja:

- $I = \{1; \dots; n\}$, Conjunto de potenciais localizações para as instalações;
- $J = \{1; \dots; m\}$, Conjunto de concelhos, associados a pontos de carga/descarga;
- f_i , Custo fixo de localizar uma instalação em i ;
- c_{ij} , Custo de afetar o concelho j à instalação localizada em i ;
- d_j , Procura de cada concelho j (número de vezes que j é visitado).

– Variáveis de decisão:

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{caso se localize uma instalação em } i. \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} ;$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{caso se afete o concelho } j \text{ à instalação localizada em } i \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} .$$

– Formulação:

› Função objetivo

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n f_i * y_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (c_{ij} * d_j) * x_{ij} \quad (3.1)$$

› Sujeita às seguintes restrições

$$x_{ij} \leq y_i \quad , i = 1, \dots, n ; j = 1, \dots, m \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad , j = 1, \dots, m \quad (3.3)$$

$$y_i \in \{0; 1\} \quad , i = 1, \dots, n \quad (3.4)$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\} \quad , i = 1, \dots, n ; j = 1, \dots, m \quad (3.5)$$

A função objetivo minimiza o custo total, determinado pela soma dos custos fixos, caso seja aberta a instalação i , com as variáveis, caso seja afetado o concelho j à instalação aberta i . O

conjunto de restrições 3.2 garante que cada concelho é afeto a uma instalação aberta. O conjunto de restrições 3.3 garante que todos os concelhos devem ser satisfeitos por exatamente uma instalação. Sendo m o número total de concelhos, as restrições 3.2 podem ser substituídas pelo conjunto de restrições da equação 3.6.

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq m * y_i, i = 1, \dots, n \quad (3.6)$$

No anexo A (Figuras A1 a A3) apresenta-se um exemplo de estrutura para a folha de cálculo em Excel e para a definição dos parâmetros do suplemento *solver* para a resolução do problema de PL base.

3.1.1.2 Alterações realizadas ao problema de PL base

Na aplicação do problema sob incerteza, o primeiro passo é a definição das decisões a tomar. Caso o decisor pretenda analisar diversas opções, para além da solução ótima determinada pelo problema de PL base, nesta metodologia propõem-se a criação de diferentes abordagens para o problema inicial que permitem estudar aspetos relevantes para o estudo da localização de instalações e, desta forma, obter diferentes soluções a considerar na tomada de decisão. As abordagens constituem alterações à formulação do problema de PL base:

- **Abordagem 1:** Introdução dos custos associados às deslocações dos motoristas para as novas instalações;
- **Abordagem 2:** Liquidação de todas as instalações atuais;
- **Abordagem 3:** Junção das abordagens 1 e 2;
- **Abordagem 4:** Forçar o problema a abrir mais uma instalação;
- **Abordagem 5:** Liquidação de uma instalação atual.

É relevante referir que devido às alterações feitas no problema de PL base, seja a introdução de uma nova variável ou restrição, as soluções obtidas por cada abordagem não são comparáveis entre si através dos critérios de decisão, com exceção da abordagem 5. Este último problema de PL possui a particularidade de gerar vários problemas, com as mesmas bases de cálculo. Este aspeto será explicado de seguida, no tópico “Abordagem 5: Liquidação de uma instalação atual”.

Abordagem 1: Introdução dos custos das deslocações dos motoristas

Ao se alterar o local de estacionamento das viaturas, os motoristas terão de se deslocar (por meio próprio, como carro) para a nova instalação, ao serviço da entidade patronal, incorrendo em custos de deslocação por quilómetro que a empresa é obrigada, por lei, a pagar-lhes.

Se a empresa, que constitui o objeto do estudo, pretendesse expandir-se para uma nova instalação, (ao invés de alterar apenas a localização da instalação atual), poderia existir a possibilidade de manter os motoristas na instalação atual, alocando-os a outros serviços, e contratar novos motoristas que habitassem mais perto da nova instalação. Desta maneira, os custos associados à deslocação dos novos motoristas não seriam muito elevados, embora fosse necessário contabilizar os custos de contratação. Contudo, se esta não for a situação, é necessário introduzir os custos de deslocação no problema de PL, pois podem ser relevantes na tomada de decisão. Uma vez que não se encontrou, na literatura, problemas de localização de instalações que realizem esta análise especificamente, é necessário adaptar a formulação clássica do problema de localização simples para permitir contabilizar os custos de deslocação dos motoristas às instalações.

Assim, os custos anuais de deslocação por motorista a cada localização são introduzidos na formulação clássica do UFLP, através de uma variável associada a esses custos e uma parcela na função objetivo capaz de os contabilizar. As alterações são as seguintes:

– Seja:

v_i , Custos variáveis anuais de deslocação de um motorista, desde o seu
concelho de residência a cada potencial localização i ;
 a , Número total de motoristas.

– Formulação:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n f_i * y_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (c_{ij} * d_j) * x_{ij} + \frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m x_{ij} * v_i)}{\frac{m}{a}} \quad (3.7)$$

Estes custos permitem quantificar, através de uma média, o custo associado à deslocação dos motoristas, podendo não representar os valores reais para cada localização. Não obstante, na função objetivo, a soma destes custos representa um valor aproximado do espetável.

É importante frisar que esta alteração constitui uma modificação na formulação clássica do UFLP, específica para este estudo de caso, mas que pode ser aplicada a outros problemas com características semelhantes.

Para além da matriz dos custos variáveis anuais associados a viagens em vazio (c_{ij}), é necessário criar outra matriz de custos variáveis associada às deslocações dos motoristas (v_i). A Figura 3.1 apresenta um exemplo de cálculo dos custos v_i , utilizando valores fictícios, que se processa da seguinte maneira:

1. Criação de uma matriz (matriz 1) que resume as distâncias, em quilómetros, entre cada um dos concelhos de residência dos motoristas e as potenciais localizações (vetor I). Estas distâncias foram determinadas através do *Google Maps*;
2. Cálculo do produto do custo unitário de deslocação dos motoristas (€/km) pela matriz de distâncias, resultando numa matriz de custos diários de deslocação (matriz 2) de um único motorista, desde o concelho de residência a cada localização;
3. Cálculo do produto entre a matriz 2 e o número de motoristas que residem em cada concelho, obtendo-se uma matriz de custos diários de deslocação para todos os motoristas a cada uma das potenciais localizações (matriz 3);
4. De modo a se obter o custo diário de deslocação de cada motorista para cada localização i (considerando apenas a ida para o local de trabalho), calculou-se a razão entre o valor dos custos de deslocação diários para cada localização para todos os motoristas e o número total de motoristas de cada serviço (€/motorista.dia);
5. Admitindo que em Portugal a média anual de trabalho são 230 dias e que, por dia, cada motorista realiza uma viagem de ida e volta do local de trabalho (2×230), determinou-se a matriz dos custos unitários de deslocação anuais (v_i), desde o seu concelho de residência até às potenciais localizações, para cada motorista (€/motorista.ano).

No anexo A, apresenta-se ainda a estrutura da folha de cálculo em Excel, relativa a esta alteração (Figura A4).

Abordagem 2: Liquidação de todas as instalações atuais

Caso já existam instalações cujas localizações se pretendam incluir no estudo, pode-se considerar uma de duas opções:

- Não se liquidam essas instalações e o custo fixo associado às respetivas localizações é igual a zero, pois não é necessário adquirir terrenos industriais nesses locais;
- Liquidam-se essas instalações, substituindo-as por uma nova, e considera-se que os custos fixos associados às suas localizações são superiores a zero, pois passam a ser locais de compra de terrenos industriais relevantes para o estudo. É esta situação que se pretende analisar com a abordagem 2.

Para a sua realização, não é necessário alterar a formulação do problema, mas apenas o custo fixo (f_i) associado a algumas localizações (pertencentes ao vetor I).

F67				
	A	B	C	D
39				
40		MATRIZ 1 - Distância entre concelhos e localizações (km)		
41	Concelho de residência dos motoristas	Localização 1	Localização 2	Localização 3
42	Torres Vedras	242,00	57,30	76,10
43	Caldas da Rainha	271,00	73,80	59,90
44	Azambuja	218,00	19,40	0,00
45				
46	Concelho de residência dos motoristas	Número de motoristas		Custo de deslocação dos motoristas por km (€/km.motorista)
47	Torres Vedras	1		0,36
48	Caldas da Rainha	1		
49	Azambuja	1		
50	Total	3		Dias de trabalho por ano
51				230
52				
53		MATRIZ 2 - Custo de deslocação por motorista (€/motorista)		
54	Concelho de residência dos motoristas	Localização 1	Localização 2	Localização 3
55	Torres Vedras	=B42*\$D\$47	=C42*\$D\$47	=D42*\$D\$47
56	Caldas da Rainha	=B43*\$D\$47	=C43*\$D\$47	=D43*\$D\$47
57	Azambuja	=B44*\$D\$47	=C44*\$D\$47	=D44*\$D\$47
58				
59	Concelho de residência dos motoristas	MATRIZ 3 - Custo de deslocação dos motoristas (€)		
60	Torres Vedras	=B47*B54	=B47*C54	=B47*D54
61	Caldas da Rainha	=B48*B55	=B48*C55	=B48*D55
62	Azambuja	=B49*B56	=B49*C56	=B49*D56
63	Custo total diário de deslocação de todos os motoristas (€/dia)	=SOMA(B59:B61)	=SOMA(C59:C61)	=SOMA(D59:D61)
64	Custo de deslocação diário por motorista (€/motorista.dia)	=B62/\$B\$50	=C62/\$B\$50	=D62/\$B\$50
65	Custo de deslocação anual por motorista (€/motorista.ano)	=B63*\$D\$50*2	=C63*\$D\$50*2	=D63*\$D\$50*2

Figura 3.1 - Cálculo do custo anual de deslocação por motorista (exemplo explicativo)

Abordagem 3: Junção das abordagens 1 e 2

Esta abordagem junta os aspetos analisados pelas abordagens 1 e 2. Para esta análise, alteram-se os custos fixos de algumas localizações e introduzem-se os custos variáveis de deslocação dos motoristas. A formulação é análoga à apresentada para a abordagem 1.

Abordagem 4: Forçar o problema a abrir mais uma instalação

Esta abordagem permite estudar a possibilidade de se manter as instalações atuais e adquirir mais uma (para a expansão da empresa, por exemplo). Nesta abordagem não são introduzidos os custos de deslocação dos motoristas, pelo que a sua formulação é semelhante à apresentada para o problema de PL base. Introduce-se apenas uma variável e uma restrição, para que seja possível estudar a abertura de um número específico de instalações. Para além da formulação base, são feitas as seguintes alterações:

– Seja:

p , Número de instalações a abrir, de entre as n possíveis.

– Formulação:

- › Sujeita à seguinte restrição (para além das mencionadas na formulação do problema de PL base)

$$\sum_{i=1}^n y_i = p \quad (3.8)$$

Assim, se a empresa possuir 3 instalações e pretender adquirir mais uma, o valor de p será 4.

Abordagem 5: Liquidação de uma instalação atual

Esta abordagem permite estudar a possibilidade de se liquidar apenas uma das instalações atuais, substituindo-a por uma nova, caso a empresa possua várias instalações. A formulação é análoga à da abordagem 4, apenas com as seguintes diferenças:

- **Na alteração dos custos fixos:** O custo fixo da localização, associada à instalação que se pretende liquidar, corresponde a um valor superior a zero. O custo fixo da localização das restantes instalações já existente mantém-se nulo;
- **No valor de p :** Ao se liquidar uma das bases já existentes, o valor de p diminui em uma unidade, face ao utilizado na abordagem anterior.

Como referido, esta abordagem possui a particularidade de gerar vários problemas. Por exemplo, se atualmente existirem 3 instalações (A, B e C), irão ser criados 3 problemas, onde: i) o primeiro analisa a possibilidade de se manterem as instalações A e B, liquidando a C e adquirindo mais uma; ii) o segundo mantém a A e a C, liquidando a B; iii) e o terceiro mantém a B e a C, liquidando a A. Todos estes problemas possuem a mesma base de cálculo (mesmas variáveis e restrições), pelo que as suas soluções são comparáveis entre si pelos critérios de decisão.

3.1.2 Critérios de decisão sob incerteza

O passo seguinte consiste na avaliação da incerteza da solução determinada pelo problema de PL, através da aplicação de critérios de decisão. Primeiramente é necessário:

1. **Definir as decisões a analisar:** As decisões correspondem às soluções obtidas pelos problemas PL base e abordagens;
2. **Definir os cenários:** Os cenários são característicos do problema, pois dependem de vários aspetos, como o tipo de produtos em transporte, a sua procura, os mercados em que o serviço de transporte se insere, o tipo de clientes, entre outros. Definidos os cenários, é necessário calcular os custos variáveis resultantes das variações da procura, i.e., cada cenário origina uma matriz de custos variáveis diferente. Deste modo, criam-se vários problemas determinísticos com a mesma matriz de custos fixos, mas diferentes matrizes de custos variáveis;

- 3. Determinar a matriz dos custos associados a cada decisão:** Para cada solução ótima obtida através da aplicação dos problemas de PL (base e abordagens), é necessário determinar o custo total associado a cada cenário. O cálculo do custo total processa-se da seguinte maneira:
- Determinar a solução do problema de PL;
 - Aplicar os cenários no problema de PL. Cada cenário irá gerar um problema de PL diferente (determinístico);
 - Aplicar a solução ótima em cada problema gerado pela aplicação dos cenários;
 - Calcular o custo fixo da solução (igual para todos os problemas de PL, independentemente do cenário);
 - Calcular o custo variável da solução, para cada problema de PL gerado;
 - Para cada problema de PL gerado por cada cenário, calcular a soma dos custos fixo e variável, resultando no custo total da solução ótima para cada cenário.
- 4. Selecionar os critérios de decisão:** Como referido na secção 2.4.3, os critérios mais utilizados para resolver problemas de localização sob incerteza são o *minimax* e o *minimax* da oportunidade perdida. Uma vez que o *minimax* da oportunidade perdida é menos conservador, optou-se pela sua aplicação. Adicionalmente, como o critério de Hurwicz permite obter um compromisso entre a solução otimista e pessimista, que poderá ser relevante para o estudo, aplicar-se-ão os dois critérios de decisão.

Como referido na subsecção 3.1.1.2, estes critérios de decisão apenas permitem comparar soluções de problemas com as mesmas bases de cálculo (abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’). Os custos das restantes decisões serão comparados através de uma matriz, como será explicado no subcapítulo 3.2, sobre a 5ª fase da aplicação da metodologia. Para facilitar a compreensão da aplicação dos critérios, de seguida apresenta-se um exemplo para cada um onde se define um conjunto de duas decisões e três cenários.

3.1.2.1 Critério *minimax* da oportunidade perdida

Determinadas as decisões (d_i) e respetivos custos totais para cada cenário (s_j), calculam-se as perdas de oportunidade (arrependimentos, $A(d_i, s)$) pela subtração de cada custo $C(d_i, s_j)$ pelo custo total mínimo em cada cenário $C_{\min}(s_i)$, tal como exemplificado na Tabela 3.1. Aplicando o critério *minimax* da oportunidade perdida (Tabela 3.2), calcula-se o arrependimento relativo $A_{\text{rel}}(d_i, s_j)$, através da razão entre o arrependimento de cada decisão em cada cenário e o custo mínimo desse mesmo cenário. Por fim, determina-se o máximo dos arrependimentos relativos de

cada decisão $A_{rel}(d_i)$ e de seguida o arrependimento relativo mínimo entre esses máximos, que corresponde à decisão final.

Tabela 3.1 - Matriz de arrependimentos

Arrependimentos (€)			
	s_1	s_2	s_3
d_1	$C(d_1, s_1) - C_{\min}(s_1)$	$C(d_1, s_2) - C_{\min}(s_2)$	$C(d_1, s_3) - C_{\min}(s_3)$
d_2	$C(d_2, s_1) - C_{\min}(s_1)$	$C(d_2, s_2) - C_{\min}(s_2)$	$C(d_2, s_3) - C_{\min}(s_3)$

Tabela 3.2 - Critério *minimax* da oportunidade perdida

	s_1	s_2	s_3	Arrependimento máximo	Critério <i>minimax</i> da oportunidade perdida
D_1	$\frac{A(d_1, s_1)}{C_{\min}(s_1)}$	$\frac{A(d_1, s_2)}{C_{\min}(s_2)}$	$\frac{A(d_1, s_3)}{C_{\min}(s_3)}$	$\text{Máx } A_{rel}(d_1)$	$\text{Mín } A_{rel}$
D_2	$\frac{A(d_2, s_1)}{C_{\min}(s_1)}$	$\frac{A(d_2, s_2)}{C_{\min}(s_2)}$	$\frac{A(d_2, s_3)}{C_{\min}(s_3)}$	$\text{Máx } A_{rel}(d_2)$	

3.1.2.2 Critério de Hurwicz

Após definidas as decisões a avaliar, determina-se o valor do coeficiente α . Um decisor mais otimista escolhe um valor acima de 0,5, caso seja mais pessimista escolhe abaixo. Aplicando o critério de Hurwicz (Tabela 3.3) na análise de custos, para cada decisão, multiplica-se este coeficiente pelo custo mínimo $C_{\min}(d_i)$ e o $1-\alpha$ pelo máximo $C_{\max}(d_i)$. Somando estes percentuais, determina-se H para cada decisão. O H mínimo corresponde à decisão que melhor se ajusta à incerteza na procura.

Tabela 3.3 - Critério de Hurwicz

	C_{\min} (€)	C_{\max} (€)	H (€)	H mínimo (€)
D_1	$\alpha * C_{\min}(d_1)$	$(1 - \alpha) * C_{\max}(d_1)$	$\alpha * C_{\min}(d_1) + (1 - \alpha) * C_{\max}(d_1)$	$\text{Mín } H$
D_2	$\alpha * C_{\min}(d_2)$	$(1 - \alpha) * C_{\max}(d_2)$	$\alpha * C_{\min}(d_2) + (1 - \alpha) * C_{\max}(d_2)$	

Embora inicialmente o critério seja aplicado apenas baseado num valor de α , de seguida, analisa-se a sensibilidade do coeficiente, de modo a se perceber para que valores a solução varia. Para isso, serão atribuídos 101 valores para este coeficiente, entre 0 e 1 (de décima a décima), e aplicado o critério com cada um. À medida que α vai aumentando (decisor pessimista para otimista), a solução pode, ou não, alterar-se.

3.2 PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA O ESTUDO DA LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

O problema em estudo consiste na determinação da localização para uma, ou várias, instalações, considerando a incerteza na decisão derivada das consequências, positivas ou negativas, que cada cenário pode trazer. O estudo desenvolvido, que procura ser aplicável em qualquer problema de localização de instalações em transitários com características semelhantes, está dividido em 5 fases (Figura 3.3), posteriormente explicadas com mais detalhe.

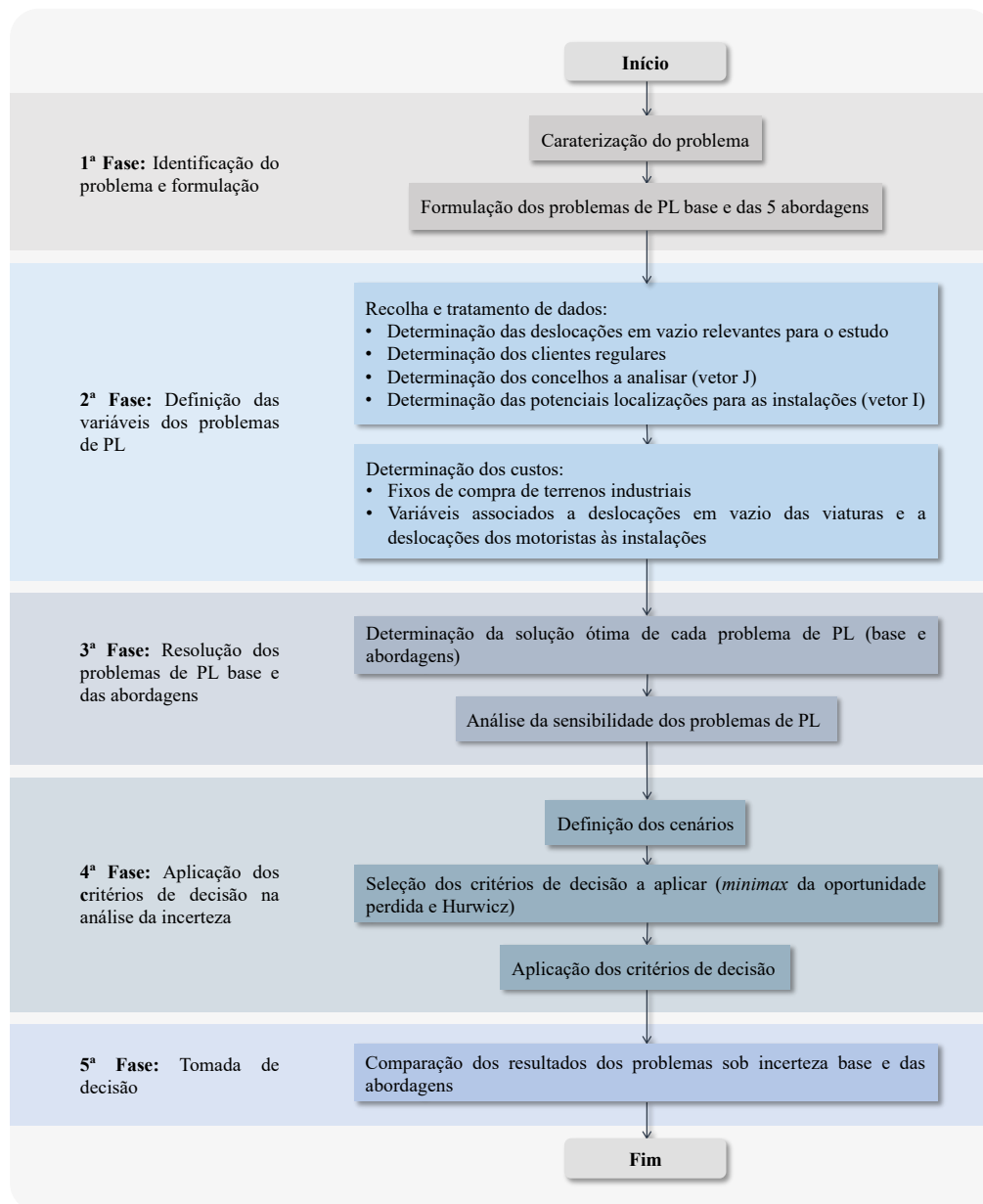


Figura 3.2 - Metodologia proposta

1ª Fase: Identificação e formulação do problema

I. Caracterização do problema

Na primeira fase caracteriza-se o problema, identificando os seguintes aspetos:

- **Objetivo do estudo:** Em problemas de localização simples, consiste em determinar onde localizar as instalações, de modo a minimizar o custo total;
- **Capital total disponível para investir:** Identificar se existe um limite máximo de capital a investir;
- **Tipos de produtos a transportar:** Numa empresa que transporta diversos tipos de produtos, é necessário perceber quais serão introduzidos no estudo e se têm de ser analisados em separado, ou podem ser agrupados num único produto-tipo. O UFLP permite apenas analisar um tipo de produto, pelo que, se existirem vários com diferentes procura, realizam-se análises distintas ou aplica-se um problema multiproducto;
- **Capacidade de cada instalação:** Inicialmente, é necessário averiguar se as instalações em estudo possuem uma capacidade máxima de estacionamento, ou se existe outro fator condicionante. Caso possuam, não é possível aplicar o UFLP, sendo necessário optar por outro problema, como o problema de localização com capacidade;
- **Custos fixos associados às novas instalações:** São exemplos os custos de compra de terreno, construção, eletricidade, água, entre outros;
- **Custos variáveis:** São exemplos os custos de materiais (que variam com as flutuações da procura), deslocação dos motoristas, movimentação de carga, entre outros;
- **Restrições relevantes a analisar:** Ao se aplicar um problema teórico numa situação real, por vezes é necessário realizar algumas alterações, seja na função objetivo ou nas restrições. De notar que existem vários problemas de localização que partiram do UFLP, pelo que é sempre conveniente averiguar se existem outros que consideram os aspetos que se pretende estudar;
- **Método a aplicar para a resolução do problema de localização:** Como referido na secção 2.3.2, existem diversos métodos matemáticos e computacionais capazes de resolver problemas de localização. Por este motivo, é preciso analisar qual a melhor opção para o problema em particular.

II. Formulação dos problemas de PL base e abordagens

Definidos os aspetos que devem ser analisados, segue-se a formulação dos problemas de PL a aplicar, definidos na secção 3.1.1.

2ª Fase: Definição das variáveis dos problemas de PL

Considerando que não existe nenhum limite máximo para o capital a investir nem para a capacidade das instalações, a formulação do problema de PL é semelhante ao problema de localização simples clássico. Numa análise de custos, o decisor deve considerar quais os tipos de custos fixos e variáveis relevantes para o estudo. Caso o problema esteja relacionado com custos variáveis sem valor acrescentado, pode ser relevante uma análise que atua diretamente nessa adversidade, pois, por vezes, a minimização destes custos não consegue ser obtida através do aumento de receitas/lucros. Dentro deste tipo, os custos associados a transportes realizados por viaturas vazias são constrangimentos para os transitários, dado não proporcionarem um retorno monetário. Habitualmente, os custos de deslocações em vazio estão relacionados com a má gestão de frotas ou com a localização pouco estratégica da empresa, ou ambos. A aplicação de problemas de localização de instalações é relevante na análise do último caso.

I. Recolha de dados

A recolha de dados foca-se nos serviços de transporte relevantes realizados por viaturas vazias. A razão pela qual não é necessária a introdução de todos os transportes em vazio, centra-se no facto de nem todos se deverem à localização pouco estratégica da empresa. A Figura 3.4 apresenta um percurso típico realizado por uma viatura de uma empresa transportadora de produtos alimentares que realiza serviços cliente a cliente e não é responsável pelo armazenamento da mercadoria. No exemplo, a viatura sai vazia da base (empresa) para ir carregar a um certo local (ponto de carga inicial). Seguidamente, descarrega a mercadoria noutro local, volta a deslocar-se a outro ponto para carregar o reboque, e assim sucessivamente até descarregar a viatura pela última vez (ponto de descarga final). Após essa ação, retorna vazia para a empresa. Como foi possível constatar, a viatura realiza diversas deslocações estando vazia, mas duas são resultado da localização pouco estratégica da empresa (quadrado 1) e os outros duas da má gestão das rotas (quadrado 2). Consequentemente, é necessário tomar medidas separadas para resolver o problema: i) estudar a localização da empresa; ii) mudar/melhorar a gestão das rotas. Para a aplicação da primeira medida, apenas é preciso recolher informação sobre as deslocações em vazio relevantes desde a empresa até ao primeiro ponto de carga e desde o último ponto de descarga até à mesma base.

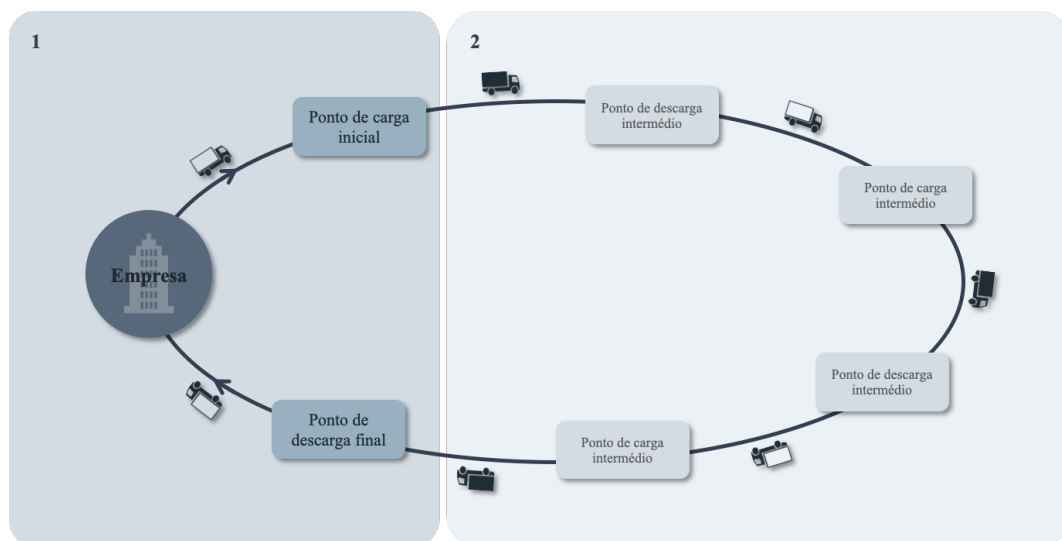


Figura 3.3 - Percurso típico realizado pelas viaturas de transporte de produtos alimentares

A tomada de decisão estratégica deve ser com base na maior quantidade de dados históricos disponíveis, dadas as suas implicações a longo prazo (Carvalho et al., 2012). Para a aplicação desta metodologia, é necessário recolher os seguintes dados:

- Clientes;
- Primeiros locais de carga e respetivos clientes;
- Últimos locais de descarga e respetivos clientes;
- Custo por quilómetro do serviço de transporte em análise;
- Número de motoristas do serviço;
- Zona de residência de cada motorista;
- Área desejada para as novas instalações.

II. Tratamento dos dados

a) *Análise ABC dos clientes*

O primeiro passo é analisar todos os clientes, para se poder distinguir os regulares dos ocasionais, que podem causar ruído nos dados. A Análise ABC permite segmentar os clientes nas classes (Douissa & Jabeur, 2016; Zowid et al., 2019):

- **A:** 20% dos clientes são responsáveis por 80% de todos os serviços de transporte realizados (quer provoquem, ou não, deslocações em vazio);
- **B:** 30% dos clientes são responsáveis por 15% de todos os serviços de transporte;
- **C:** 50% dos clientes são responsáveis por 5% de todos os serviços de transporte.

Considera-se ruído apenas os clientes de classe C, por estarem associados a apenas 5% de todos os serviços de transporte, pelo que serão retirados do conjunto de clientes. Nas classes A e B, eliminam-se os clientes cujos serviços de transporte não provocam deslocações em vazio relevantes (explicado no ponto I. Recolha de dados). Após esta análise, fica-se então com um conjunto de clientes regulares cujos serviços de transportes associados, tanto de carga como de descarga, são realizados por viaturas vazias nos dois percursos especificados.

b) Determinação das localizações a analisar (vetores I e J)

Seguidamente, procede-se à determinação das localizações a introduzir nos problemas de PL, através da identificação dos pontos de carga/descarga associados ao conjunto de clientes definido. Nesta fase, podem ocorrer duas situações:

- A cada cliente está associado um único ponto de carga/descarga, sendo possível associar automaticamente uma localização diferente a cada um, criando um conjunto de potenciais localizações a estudar;
- Existem vários clientes cujos serviços que lhes são prestados envolvem a carga/descarga em vários locais diferentes. Nesta situação, a determinação das localizações através da identificação da residência dos clientes é mais complexa, ou mesmo impraticável, pois, a cada um, podem estar associados vários pontos de carga/descarga que provocam deslocações em vazio relevantes. Neste caso, pode-se optar por outras soluções, como:
 - › Perceber se as rotas de cada viatura do serviço estão segmentadas por zonas. Caso estejam, é possível identificar cada zona como uma localização a analisar;
 - › Identificar todos os pontos de carga/descarga associados ao transporte de cada cliente. Deste modo, trabalha-se com a localização dos pontos de carga/descarga, em vez da dos clientes, mesmo que estas possam coincidir em algumas situações.

Para qualquer um dos casos, obtém-se um conjunto de localizações (vetor J), sendo que, se for de grande dimensão, pode ser necessário agruparem-se essas localizações para facilitar a aplicação dos problemas de PL. A agregação é feita de acordo com um determinado critério, como distrito (que origina um conjunto de dados muito reduzida), concelho (origina um conjunto ligeiramente reduzido) ou freguesia (origina um conjunto de dados muito pouco reduzida).

Após se identificarem as localizações dos pontos de carga/descarga referentes aos clientes associados a deslocações em vazio, é ainda necessário identificar, dentro desse conjunto, quais são aquelas onde se poderão localizar as novas instalações (vetor I). Estas localizações correspondem aos que provocam mais quilómetros percorridos em vazio, no período em estudo. Para isso, é recomendável realizar outra Análise ABC ao conjunto de localizações acima

determinado (vetor J). A classe A corresponde a 20% das localizações que originam 80% dos quilómetros em vazio. É importante referir que estas localizações são analisadas de acordo com o formato definido para o vetor J (distrito, concelho, freguesia ou outro).

III. Determinação dos custos

O UFLP analisa custos fixos e variáveis, sendo que cada um pode ser influenciado por diversos fatores. Por exemplo, os custos fixos associados às instalações podem depender da compra/aluguer de terreno (que por sua vez varia de acordo com a sua localização e área), água, eletricidade, entre outros. Já os custos variáveis dependem de uma multiplicidade de agentes, como a distância, mão-de-obra, combustível, entre outros. Este tipo e quantidade de informação é relativamente difícil de recolher e pode tornar-se num processo demasiado moroso. Assim, para esta metodologia apenas serão contabilizados os custos fixos e variáveis (operacionais) de maior peso e relevância para o problema, obtidos através de informação recolhida por diversas fontes.

Deste modo, os custos fixos (f_i) englobam apenas o valor associado à compra de terrenos industriais em cada potencial localização, uma vez que esta representa um grande investimento e, por isso, possui um elevado peso na decisão a tomar. Os custos variáveis (c_{ij}), associados às deslocações realizadas por viaturas vazias, englobam aspetos como combustível, distâncias percorridas, portagens, manutenção, entre outros. Na metodologia proposta, os custos variáveis a analisar variam com o problema de PL em questão, definidos na secção 3.1.1:

- **Problema base e abordagens 2,4 e 5:** Estudam apenas os custos derivados das deslocações realizadas por viaturas vazias;
- **Abordagens 1 e 3:** Para além dos anteriores, introduzem-se os custos derivados das deslocações dos próprios motoristas até às novas instalações.

3ª Fase: Resolução dos problemas de PL base e das abordagens

I. Determinação da solução ótima de cada problema de PL

Para problemas com um número de variáveis e restrições superior a 200, não é possível usar o *solver* disponível como suplemento da ferramenta de cálculo Excel. Para estas situações, sugere-se o *software* gratuito *OpenSolver 2.9.3_Beta_Advanced*, que resolve problemas de otimização linear, inteira e não linear com várias variáveis e restrições. A utilização deste *software* requer que seja feito o seu *download* e ligação com a ferramenta de cálculo Excel, onde é desenvolvido o problema. O algoritmo utilizado na resolução do problema é o *COIN Branch and Cut (CBC)* e destina-se à resolução de programação inteira mista, de código aberto, escrito em C++.

Na folha de cálculo, estrutura-se o problema de PL e definem-se os parâmetros no *software solver*, tal como exemplificado no anexo A (Figuras A1 a A3). Correndo o algoritmo *CBC*, determina-se a solução ótima para cada problema de PL definido (base e abordagens).

II. Análise de sensibilidade dos problemas de PL base e das abordagens

Depois de se determinar a solução ótima de cada problema de PL, é necessário realizar a análise da sua sensibilidade (AS). Esta análise é relevante, pois permite estudar os limites para a variação dos parâmetros que mantêm a estrutura da solução ótima, obtendo-se um conhecimento mais profundo sobre os coeficientes da função objetivo e das restrições, e sobre os limites das mesmas. Deste modo, obtém-se uma perceção das condições em que a solução é válida e que ajustes são permitidos sem que esta se altere. Visto não ser possível realizar a AS no *solver* utilizando variáveis binárias, é necessário substituir as restrições binárias para as variáveis de decisão pelas restrições 3.9 e 3.10, que garantem que as variáveis têm de ser superiores, ou iguais, a zero e inferiores, ou iguais, a um.

$$y_i \in [0,1] \quad , i = 1, \dots, n \quad (3.9)$$

$$x_{ij} \in [0,1] \quad , i = 1, \dots, n ; j = 1, \dots, m \quad (3.10)$$

4ª Fase: Aplicação dos critérios de decisão na análise da incerteza

Seguidamente, aplicam-se critérios de decisão para se determinar a solução que melhor se ajusta a variações na procura. O problema de PL é submetido a cenários, determinando-se a solução ótima (localização) para cada um, que depois são comparadas através dos critérios de decisão. Contudo, só é possível aplicá-los às soluções de problemas de PL com a mesma base de cálculo.

I. Definição dos cenários

O passo seguinte é a definição dos cenários que constituem possíveis representações da procura futura, que podem ou não ocorrer, e sobre as quais o decisor não possui qualquer controlo. Para delinear os cenários é necessário obter-se informação, seja através de dados históricos seja através de estudos e estatísticas realizados por entidades fidedignas. Cabe ao decisor definir os cenários que pretende analisar, de acordo com a informação disponível e as características do problema.

A situação de pandemia está a ter consequências em diversos setores e indústrias, podendo também, a longo prazo, ter um grande impacto na procura por diversos produtos e serviços, como o do transporte de produtos alimentares. Por este motivo, na análise da incerteza, pode existir a necessidade de se estudar este impacto na procura. Esta informação, em particular, requer a

recolha de informação através de fontes, como jornais, estatísticas e o conhecimento dos gestores dos serviços de transporte.

II. Seleção dos critérios de decisão a aplicar

Nesta fase aplicam-se critérios de decisão para a análise da incerteza na escolha de localização, face a diferentes cenários, de modo a se determinar a solução que melhor se ajusta às flutuações da procura. Embora existam outras metodologias mais específicas e complexas para a análise da incerteza no estudo da localização, os critérios de decisão também são utilizados para o efeito, propondo-se a aplicação do critério *minimax* da oportunidade perdida e do critério de Hurwicz.

III. Aplicação dos critérios de decisão

Formulam-se os critérios de decisão minimax da oportunidade perdida e Hurwicz, á semelhança da formulação apresentada na subsecção 2.4.5.2 e exemplificada na secção 3.1.2.

5ª Fase: Tomada de decisão

Após a análise, numa tabela, reúnem-se os custos totais associados aos problemas sob incerteza (em cada cenário) e faz-se uma análise comparativa de cada problema, tendo em conta as suas características específicas. A decisão é tomada de acordo com os objetivos e posição do decisor face ao risco (por exemplo, se pretende arriscar e fazer um elevado investimento inicial, liquidando uma base atual ou todas, ou se pretende escolher a opção que minimiza os custos, mudando apenas o serviço para outra das suas bases sem adquirir uma nova). A Tabela 3.4 apresenta um exemplo para a estrutura da tabela dos custos de cada problema sob incerteza.

Tabela 3.4 - Exemplo de estrutura de tabela dos custos de cada problema sob incerteza

Problemas sob incerteza	Custo total (€)		
	S ₁	S ₂	S ₃
Base	C(d ₁ , s ₁)	C(d ₁ , s ₂)	C(d ₁ , s ₃)
Abordagem 1 “Introdução do custo de deslocação dos motoristas”	C(d ₂ , s ₁)	C(d ₂ , s ₂)	C(d ₂ , s ₃)
Abordagem 2 “Alteração dos custos fixos das bases atuais”	C(d ₃ , s ₁)	C(d ₃ , s ₂)	C(d ₃ , s ₃)
Abordagem 3 “Junção das abordagens 1 e 2”	C(d ₄ , s ₁)	C(d ₄ , s ₂)	C(d ₄ , s ₃)
Abordagem 4 “Forçar o problema a abrir mais uma instalação”	C(d ₅ , s ₁)	C(d ₅ , s ₂)	C(d ₅ , s ₃)
Abordagem 5 “Liquidar uma base já existente”	C(d ₆ , s ₁)	C(d ₅ , s ₂)	C(d ₆ , s ₃)

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo contextualiza-se a Transportes Paulo Duarte Lda. e as atividades por ela realizada, nomeadamente pelos serviços de transporte de líquidos alimentares a nível nacional (Serviço_LAS) e de produtos perecíveis a temperatura controlada a nível internacional (Serviço_FI), que constituem os objetos da análise. Segue-se a aplicação da metodologia proposta para estudar a localização das instalações destinadas ao estacionamento destes serviços, onde são enunciados os resultados obtidos através do tratamento de dados e da aplicação dos problemas de programação linear (PL) e dos critérios de decisão na análise da incerteza. Por fim, comparam-se os resultados obtidos.

A análise dos serviços será feita em separado. O estudo de caso 1 refere-se ao Serviço_LAS e o estudo de caso 2 ao Serviço_FI. Dada a elevada quantidade de informação, e uma vez que se aplicou a mesma metodologia para ambos os serviços, o estudo de caso 2 encontra-se no anexo J.

4.1 CARATERIZAÇÃO DO ESTUDO

4.1.1 Transportes Paulo Duarte Lda.

A Transportes Paulo Duarte Lda., com sede em Torres Vedras, presta serviços de transporte rodoviário de mercadorias a nível nacional e internacional, incidindo principalmente nos setores alimentar e de mercadorias perigosas. A empresa, formada em 1967, emprega atualmente 730 colaboradores, dos quais aproximadamente 85% são motoristas. Possui cerca de 506 viaturas e 673 reboques distribuídos pelas várias áreas de negócio. Detém quatro estações de lavagem e desinfecção, cinco bases ao longo de Portugal Continental e realiza serviços em diversos países da Europa, para além de Portugal, nomeadamente França, Alemanha, Reino Unido e Luxemburgo. Das cinco bases, duas situam-se no norte do país (Perafita e Lamego), duas no centro (Azambuja e Torres Vedras) e uma no Algarve (Algoz). O volume de negócios tem vindo a aumentar ao longo dos anos, tendo atingido um valor superior a 52 milhões de euros em 2019, com um total de 44,5 milhões de quilómetros percorridos no mesmo ano. Este valor representa um aumento superior a 3 milhões de euros (5,8%) face a 2018, com um aumento do número de quilómetros percorridos de 170 mil km (0,4%).

A empresa aposta ainda num modelo de negócios “Parceiro TPD”, que integra parceiros (subcontratados) em alguns dos seus serviços, para poder dar resposta a picos de procura. Uma

vez que o Grupo Paulo Duarte pretende uma ocupação constante da sua frota, realizar parcerias com outras empresas permite ajustar a dimensão da sua frota para pouco mais da quantidade de serviços que esperam realizar. A gestão dos subcontratados é feita pela sede da empresa.

4.1.1.1 Gestão dos tipos de serviços de transporte

A Transportes Paulo Duarte Lda. organiza os seus serviços em seis grupos, de acordo com o tipo de transporte realizado:

- **Serviço de Mercadorias Perigosas:** Transporta combustíveis, fuel, asfaltos, lubrificantes, químicos e gás. Relativamente a 2019, este serviço representou aproximadamente 33% do volume de negócios da empresa;
- **Serviço Distribuição:** Opera no setor do retalho, distribuindo para grandes centros como Sonae e Continente. Relativamente a 2019, o serviço representou quase 25% do volume de negócios da empresa;
- **Serviço de Alimentares:** Dentro deste grupo, os serviços mais relevantes para a empresa referem-se ao transporte de líquidos alimentares a nível nacional e internacional. Em 2019, este grupo representou aproximadamente 20% do volume de negócios;
- **Serviço de E-commerce:** Transporta carga refrigerada em ambiente B2C, nomeadamente associada a entregas de compras online. Relativamente a 2019, o *E-commerce* representou quase 9% do volume de negócios da empresa;
- **Serviço de ATP:** Transporta produtos alimentares perecíveis a temperatura controlada, podendo distinguir-se os transportes frigorífico nacional e internacional. Em 2019, o serviço representou aproximadamente 7% do volume de negócios da empresa;
- **Serviço de Carga Geral:** Transporta carga generalizada a nível nacional e internacional. Em 2019, representou pouco mais de 6 % do volume total de negócios.

A nível nacional, a Transportes Paulo Duarte Lda. distribui por todo o país, com mais incidência nas regiões de maior densidade populacional. Cada base gere determinados serviços, de modo descentralizado, para permitir uma menor incidência de erros na sua gestão e maior proximidade entre gestores e motoristas. Neste momento, os serviços estão distribuídos da seguinte maneira:

- **Base de Perafita:** Responsável pelo serviço Carga Geral a nível nacional e internacional;
- **Base de Lamego:** Responsável apenas por parte dos serviços líquidos alimentares nacional e internacional;
- **Base de Torres Vedras:** Responsável pelos serviços de Mercadorias Perigosas e ATP, e por parte dos Alimentares;

- **Base da Azambuja:** Responsável pelo *e-commerce* e por parte dos serviços Alimentares;
- **Base de Algoz:** Responsável por parte dos serviços Alimentares.

Contudo, pode haver a necessidade de alguma base disponibilizar uma das suas viaturas a outra base para a realização de algum serviço, embora não seja muito frequente.

A dissertação foca-se apenas nos serviços alocados à sede da Transportes Paulo Duarte Lda., em Torres Vedras, doravante denominada de TPD_TV.

4.1.1.2 Planeamento das rotas

Geralmente, o transporte de mercadorias funciona durante os dias úteis, embora possam ocorrer transportes ao fim de semana. Este planeamento é feito caso-a-caso, com base na experiência dos gestores de tráfego que utilizam o sistema GPS *Frotcom* e o *Google Maps* para identificarem a localização atual das viaturas e dos pontos de carga/descarga e, a partir daí, organizarem as rotas correspondentes. Este método possui a desvantagem de estar frequentemente suscetível a falhas que trazem custos para a empresa. Para o planeamento, são consideradas algumas restrições, nomeadamente: i) tipo de mercadorias; ii) viaturas e motoristas disponíveis; iii) lavagem das viaturas; iv) horários de recolha/descarga de mercadoria impostos pelos clientes; v) legislação que define as paragens e substituições obrigatórias dos motoristas.

Regra geral, as viaturas alocados à TPD_TV permanecem estacionados no parque da sede após a realização dos serviços. Assim, uma vez que a empresa não armazena a mercadoria, as viaturas partem de Torres Vedras para a irem recolher a uma entidade e, após realizados os serviços, retornam à sede vazios. Este sistema origina a frequente deslocação de viaturas vazias desde e para a sede, provocando custos sem valor acrescentado para a empresa que se pretendem reduzir.

4.1.1.3 Caraterização dos serviços de transporte em estudo

Com o estudo de caso pretende-se validar a proposta de uma metodologia para a escolha do local de estacionamento de viaturas, destinadas ao transporte de mercadorias alimentares, aplicando o problema de localização simples e os critérios de decisão *minimax* da oportunidade perdida e Hurwicz na análise da incerteza. A Transportes Paulo Duarte Lda., que constituiu o objeto de estudo, permitiu aplicar e validar a metodologia proposta.

A análise foca-se nos custos, nomeadamente os associados a deslocações em vazio, dado representarem um constrangimento para a empresa. O problema deve-se à dificuldade na redução deste tipo de custos, pois o aumento das receitas/lucros não implica, necessariamente, a diminuição deste tipo de custos sem valor acrescentado, sendo necessário atuar diretamente sobre

eles. Em entrevista direta à gestão da empresa verificou-se que, de entre todos os tipos de serviços prestados, aqueles que sofriam de custos de deslocações em vazio mais elevados eram:

- Serviço de transporte nacional de líquidos alimentares, mais especificamente na região sul de Portugal (Serviço_LAS);
- Serviço de transporte frigorífico a nível internacional (Serviço_FI).

A análise dos serviços LAS e FI será realizada em separado, uma vez que transportam diferentes tipos de mercadorias, para mercados e clientes distintos, podendo resultar em duas soluções de localização díspares (uma para cada serviço). Cada serviço de transporte possui determinadas particularidades (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Características dos serviços LAS e FI

	Serviço_LAS	Serviço_FI
Tipo de mercadoria transportada	Produtos a granel: vinho, azeite, óleos, água, sumo, mosto, entre outros;	Produtos congelados e perecíveis: frutas e legumes;
Procura	Elevada durante todo o ano, excetuando nos meses de agosto e dezembro;	Sazonal: i) Produtos perecíveis - possuem maior procura durante a altura das campanhas dos supermercados; ii) Depende da atividade comercial: - Exportação - período de procura elevada de outubro a maio; - Importação - período de procura elevada de junho a setembro (quando a procura da exportação é elevada, a da importação é reduzida, e vice-versa).
Mercados em que se insere	Portugal e Espanha;	Alemanha, Inglaterra, França e Benelux (Bélgica, Holanda e Luxemburgo);
Número de serviços realizados em 2019	12 476	2 015 (realiza menos transportes que o Serviço_LAS, por demorar mais tempo em viagem);
Número de clientes servidos em 2019	117	147
Número de motoristas por viatura	1	2
Tipo de viatura	Trator com semi-reboque do tipo tanque para transporte de líquidos;	Trator com semi-reboque do tipo frigorífico;
Grupagem de mercadoria	Por transportar produtos a granel, não permite o agrupamento de vários serviços na mesma rota (vários produtos no mesmo tanque), sendo apenas possível transportar um produto de cada vez.	Embora o tipo de reboque e de mercadoria permitam o agrupamento de vários serviços na mesma deslocação, o serviço; carrega sempre até à sua capacidade máxima para cada cliente.
Lavagem	Antes de cada serviço, é necessário proceder à lavagem do tanque.	-

Embora ambos os serviços transportem mercadoria de variedades diferentes, isso não influencia o tipo de transporte que realizam (por exemplo, serviço urgente ou regular). Consequentemente, o facto de cada um realizar apenas um tipo de transporte (urgente), faz com que os custos de transporte tenham todos o mesmo peso, não sendo necessário diferenciá-los neste estudo.

4.1.2 Identificação das características do problema

Primeiramente, é necessário identificar certos requisitos do problema, para que seja possível aplicar a metodologia proposta:

- **Objetivo:** Escolher a localização da/das instalações que minimize o custo total;
- **Capital total disponível para investir:** Não existe limite máximo para o capital;
- **Tipos de produtos a transportar:** A análise dos serviços LAS e FI é feita em separado, uma vez que transportam diferentes tipos de produtos, a mercados e clientes distintos;
- **Capacidade de cada instalação:** Considerou-se que não existe capacidade máxima, pois a área total da instalação é suficientemente elevada para albergar os serviços. Segundo o *feedback* da empresa, a área da nova instalação, para ambos os serviços LAS e FI, deve ser igual a 46.000 m²;
- **Restrições relevantes a analisar:** Apenas nas abordagens ‘Identificação dos custos associados às deslocações dos motoristas’, ‘Forçar o problema a abrir mais uma instalação’ e ‘Liquidação de uma instalação atual’ são acrescentadas restrições à formulação clássica do problema de localização simples (UFLP);
- **Método a aplicar para a resolução do problema de PL:** Na presente dissertação, utiliza-se o *software OpenSolver 2.9.3_Beta_Advanced*.

Identificados estes aspetos, é possível aplicar a metodologia proposta.

4.1.3 Recolha de dados

Embora para decisões estratégicas seja aconselhável analisar informação relativamente ao maior período possível, para este estudo apenas são tratados os dados referentes aos serviços de transporte realizados durante o período de um ano (2019) pelas seguintes razões:

- A informação disponível sobre os fretes realizados, nos vários anos, continha várias discrepâncias sobre aos percursos efetuados por viaturas vazias, o que obrigou a uma análise individual de cada transporte efetuado, para ambos os serviços;

- Por ser um estudo de caso desenvolvido numa empresa transportadora e por ser preciso analisar os dados sobre todos os transportes realizados pelas viaturas de dois tipos serviços, a quantidade de informação é extensa. Este fator, juntamente com a necessidade de análise individual de cada frete, tornou o processo de tratamento da informação muito moroso e mais suscetível ao erro humano;
- Escolheu-se o ano 2019 especificamente, por ser um ano mais recente e sobre o qual é possível obter a informação da procura em todos os meses (ao contrário de 2020 onde só se tinha os dados dos primeiros 6 meses). Segundo os gestores da empresa, a procura dos serviços em 2019 foi representativa dos últimos anos.

A informação foi extraída do *software* de gestão de transportes, *Fleetcom*, tendo sido criada uma base de dados no *software* Excel com a informação sobre cada frete realizado, nomeadamente: i) tipo de serviço; ii) número do frete; iii) nome do cliente; iv) matrícula do reboque; v) se foi realizado por um subcontratado; vi) matrícula do trator; vii) local, país e data de carga e descarga do serviço. Para facilitar a análise, organizou-se a informação de acordo com a matrícula do trator, data de carga e data de descarga. Nesta base de dados, foi necessário identificar os fretes relevantes para o estudo (subcapítulo 3.2), recorrendo ao sistema de acompanhamento de frota (do tipo GPS) *Frotcom* e ao departamento de Controlo Operacional. Os restantes dados foram obtidos da seguinte maneira:

- **Distância entre concelhos:** Calculada através do *Google Maps*;
- **Custos por quilómetro:** Fornecidos pelo departamento de Controlo Operacional;
- **Custos fixos de compra de terrenos industriais:** Recolhidos através dos *websites* imobiliários *casa.sapo.pt*, *imoveis.mitula.pt*, *imovirtual.pt*, *nuroa.pt*, *remax.pt*, *idealista.pt* e *pisos.mitula.pt*;
- **Número de motoristas, e respetivos locais de residência:** Fornecidos pelo departamento de Recursos Humanos da empresa;
- **Informações relevantes para a definição dos cenários:** Recolhidas através de jornais de notícias, entrevistas a entidades fidedignas como a Associação Nacional de Transportadoras Portuguesas, estatísticas e o conhecimento dos gestores de frota da empresa sobre a procura e os clientes de cada serviço. É importante referir que:
 - › A procura traduz-se numa frequência de viagens, pelo que a definição dos cenários tem de considerar a sua variação. Para determinar esta variação recolheu-se informação sobre as tendências da procura associada aos produtos, uma vez que o número de serviços realizados pelas viaturas depende diretamente do crescimento/decréscimo da procura pelo tipo de produtos transportados;

- Devido à situação atual de pandemia, considerou-se relevante desenvolver alguns cenários representativos das suas possíveis repercussões na distribuição alimentar. A recolha desta informação foi relativamente complexa, dado tratar-se de um acontecimento recente, atípico e que ainda nos encontramos a viver, pelo que a informação disponível sobre os impactos nos vários setores é mais reduzida e, em alguns casos, contraditória.

4.2 ESTUDO DE CASO 1: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NO SERVIÇO DE TRANSPORTE NACIONAL DE LÍQUIDOS ALIMENTARES DA PAULO DUARTE

Neste subcapítulo aplica-se a metodologia proposta no contexto do serviço de transporte de líquidos alimentares nacional (Serviço_LAS). Apresentam-se os resultados do tratamento dos dados recolhidos, a aplicação dos problemas de PL base e abordagens, a análise de sensibilidade dos mesmos e a análise da incerteza através dos critérios de decisão *minimax* da oportunidade perdida e Hurwicz. Por fim, comparam-se os resultados obtidos.

4.2.1 Tratamento de dados

Um cliente do Serviço_LAS pode estar inserido em ambiente B2B ou B2C, sendo que cada serviço de transporte envolve três entidades: i) a empresa transportadora; ii) o cliente da empresa transportadora; e iii) uma outra entidade. Ou seja, quando um cliente requisita um serviço, este pode consistir em recolher a mercadoria desse mesmo cliente (fornecedor, por exemplo) e entregá-la a outra entidade, ou em recolher um produto de uma entidade (produtor, por exemplo) e entregá-lo ao cliente que requisitou o serviço. Isto significa que não é possível caracterizar os clientes da empresa como sendo apenas produtores ou vendedores B2C, por exemplo. Não obstante, podem ser distinguidos em clientes regulares e ocasionais.

Assim, no tratamento de dados foi necessário determinar: i) o conjunto de clientes regulares, aplicando a Análise ABC; ii) o conjunto de concelhos associados aos pontos de carga/descarga das viaturas (vetor J); iii) o conjunto de potenciais localizações para as instalações (vetor I), através da Análise ABC; iv) a frequência de deslocações em vazio das viaturas (procura); v) e os custos fixos e variáveis a analisar.

4.2.1.1 Aplicação da Análise ABC aos clientes do Serviço_LAS

Os clientes regulares foram determinados através da aplicação da Análise ABC ao conjunto de clientes. A análise do número de serviços realizados aos 117 clientes, durante o período de um ano, permitiu a sua classificação em três classes, de acordo com a Análise ABC presente no anexo B (Tabela B1). Para efeitos deste estudo, considerou-se que as classes A e B representam os clientes regulares e que a classe C representa os clientes ocasionais. A Análise ABC do conjunto de clientes em 2019 (Figura 4.1), permitiu concluir que 86,1% dos transportes realizados pelas viaturas do Serviço_LAS corresponderam apenas 12 clientes (10.3% do conjunto), constituindo assim a classe A. Relativamente à classe B, 12.1% dos serviços foram prestados a 35 clientes (29.9% do conjunto). Na classe C encontram-se os restantes 70 clientes (59.8% do conjunto), aos quais foram prestados apenas 1.8% dos serviços.

Assim, verifica-se que em 2019 a empresa prestou serviços a 47 clientes regulares e a 70 clientes ocasionais, que correspondem respetivamente a 40,2% e 59,8% do conjunto de clientes. A percentagem de clientes regulares e ocasionais correspondeu, respetivamente, a 98,2% e a 1,8 % da totalidade dos serviços realizados.

4.2.1.2 Caraterização dos pontos de carga e descarga das viaturas

Como a empresa não armazena mercadoria, para cada serviço de transporte, as viaturas precisam de ir carregar num determinado local (ponto de carga) e, após o carregamento, desloca-se até a um segundo local para serem descarregada (ponto de descarga).

I. Determinação das deslocações em vazio relevantes

Para o estudo, pretende-se analisar as deslocações feitas por viaturas vazias desde, ou para, a TPD_TV, por apenas se tratar de um ponto de descanso que não acrescenta valor à empresa. Definiram-se apenas dois segmentos relevantes de cada deslocação: i) desde a base em Torres Vedras até ao primeiro ponto de carga; ii) e desde o último ponto de descarga até à mesma base. Nesta análise, consideraram-se os serviços realizados a clientes regulares e as deslocações intermédias não foram contabilizadas.

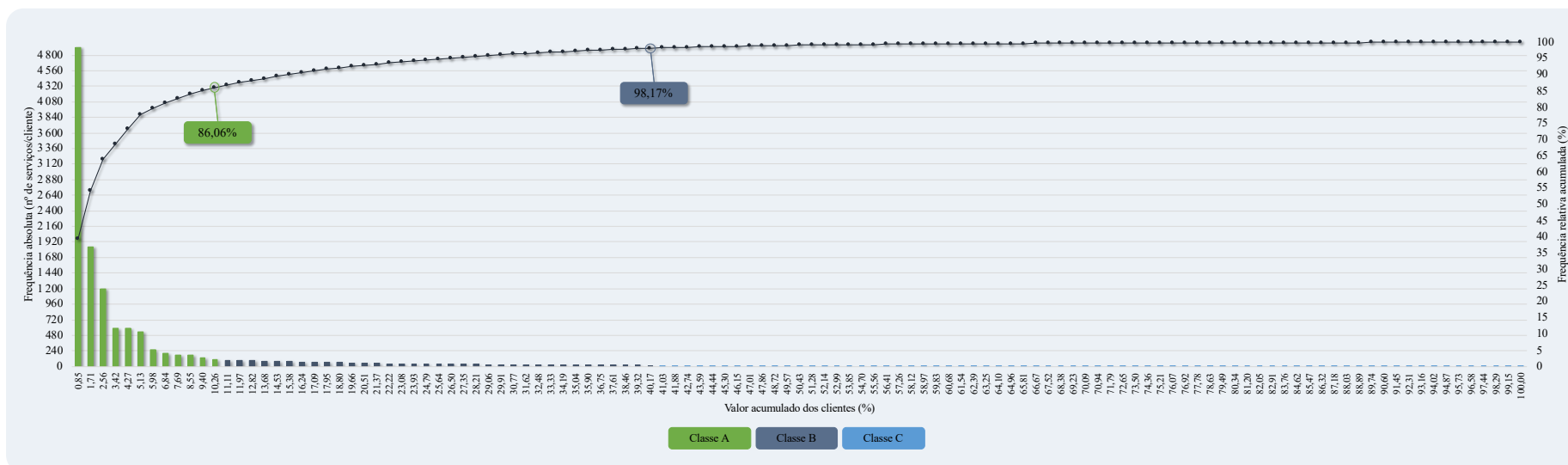


Figura 4.1 - Análise ABC dos clientes do Serviço_LAS em 2019

A análise destes percursos foi feita através da base de dados em Excel (secção 4.1.3). Determinados os pontos de carga/descarga relevantes, construiu-se uma segunda base de dados apenas com esses fretes. Deste conjunto, foi ainda necessário verificar:

- **Se a viatura foi estacionada na TPD_TV:** A sede emprega motoristas de várias zonas do país, embora a maior parte pertença ao distrito de Lisboa. Geralmente, quando o motorista mora perto das bases em Lamego ou Perafita, tende a estacionar nessas bases, em vez de se deslocar até Torres Vedras (o mesmo se aplica às restantes bases). Estas situações foram excluídas do conjunto;
- **Se os serviços de transporte foram realizados por empresas subcontratadas:** Caso tenham, não são incluídos no estudo, pois as viaturas utilizadas nestes serviços não pertencem à TPD_TV.

Após esta análise, chegou-se a um conjunto de deslocações críticas mais reduzido.

II. Determinação dos pontos de carga e descarga

No subcapítulo 3.2, na descrição da segunda fase da metodologia (Ponto II. Tratamento de dados), referem-se diversas maneiras para se determinarem as localizações a analisar. No estudo de caso não foi possível aplicar o problema de PL de acordo com as localizações dos clientes, pois, quando um cliente requisita vários serviços à empresa ao longo do ano, cada um pode implicar recolher e/ou distribuir a mercadoria a várias entidades (pontos de carga e/ou descarga, respetivamente) em diferentes serviços de transporte. Isto significa que, para além de um cliente poder não estar associado a um único ponto de carga e descarga, vários clientes podem ter um ou vários pontos de carga/descarga nas mesmas localizações. Analisando o conjunto de pontos de carga/descarga associados a cada serviço, para o ano de 2019, e respetivos clientes, verificou-se que:

- 55,6% dos clientes regulares estão associados a pontos de carga em comum e 15,6% estão associados a pontos de descarga em comum;
- 20,2% dos 84 pontos de carga e 7,1% dos 85 pontos de descarga foram identificados como sendo comuns a vários serviços prestados a diferentes clientes.

Estes resultados tornaram a análise da distribuição geográfica dos pontos de carga/descarga por cliente mais complexa, por não ser possível afirmar, para todas as situações, que qualquer ponto de carga/descarga corresponde apenas a um determinado cliente. A mesma análise por trator também não foi possível, uma vez que as viaturas não são organizadas por zonas geográficas. Como alternativa, determinaram-se as localizações através dos próprios pontos de carga/descarga de mercadorias. As cargas e descargas não foram diferenciadas entre si, pois apenas interessa a

informação relativa ao número de quilómetros percorridos entre os dois pontos (desde a sede até ao local de carga e do local de descarga até à sede) e não a direcção da deslocação.

O conjunto de pontos de carga/descarga críticos analisados ficou constituído por 135 pontos em Portugal e 37 em Espanha, num total de 172 pontos de carga/descarga. O conjunto inicial de clientes, mencionado na subsecção 4.2.1.1, ficou mais reduzida ao se excluírem os clientes regulares que não estão associados a estes pontos críticos, passando de 47 para 45 clientes regulares. Os problemas de PL e os critérios de decisão aplicados baseiam-se nestes conjuntos.

III. Agregação dos pontos de carga/descarga em concelhos

Embora se tenha definido um conjunto de localizações mais limitado, a quantidade de pontos de carga/descarga a avaliar continuou bastante elevada, tendo sido necessário agregar estes pontos de acordo com a localização geográfica em que se inseriam. Esta agregação foi feita por concelhos (ou províncias espanholas). A razão pela qual não foram agrupados por freguesia, foi por reduzir pouco a dimensão do conjunto e pelo facto de, segundo o departamento de Controlo Operacional, os quilómetros percorridos pelas viaturas entre freguesias não serem suficientemente elevados para provocarem variações de custos consideráveis, pelo que não compensaria fazer essa distinção. Contrariamente, o agrupamento por distrito revelou-se demasiado abrangente para determinar, com precisão, a localização que origina uma maior poupança em termos de custos de deslocação em vazio. Agregando-se os pontos de carga/descarga, identificaram-se 96 concelhos em Portugal, distribuídos por 18 distritos, e 22 províncias espanholas, distribuídas por 10 comunidades autónomas, perfazendo um total de 118 localizações a estudar.

A listagem dos concelhos e províncias encontra-se no anexo C. A Figura C1 representa os concelhos portugueses organizados por distritos e a Figura C2 apresenta as províncias espanholas agrupadas por comunidades autónomas. Estas listas constituem o vetor J do problema de PL. Posteriormente, o conjunto de concelhos e províncias será mencionado apenas como concelhos.

IV. Distribuição geográfica dos pontos de carga/descarga

As Tabelas 4.2 e 4.3 apresentam o número de concelhos por região, associados a deslocações em vazio, em Portugal e Espanha, respetivamente. Para Portugal, em cada região, existem 6 distritos associados a estas deslocações, com maior incidência na região centro onde 42 (43,80 %) dos 96 concelhos analisados estão associados a deslocações em vazio. Os pontos de carga/descarga da zona sul representam ainda 37,50 % da totalidade do conjunto, fazendo com que os concelhos destas duas regiões perfaçam mais de 80,00 % da totalidade. Em Espanha as viaturas deslocam-se por 6 comunidades autónomas no norte do país, 3 na região centro e 1 no sul. A zona norte é a

que apresenta um maior número de províncias associadas a estas viagens, representando cerca de 60,00 % das 22 analisadas. Portugal é o país que apresenta mais deslocações em vazio.

Tabela 4.2 - Número de deslocações em vazio realizados pelo Serviço_LAS em cada região portuguesa, por distrito e concelho, e respetiva percentagem de concelhos por região

Região geográfica de Portugal	Número de distritos por região	Número de concelhos por região	Percentagem de concelhos por região (%)
Norte	6	18	18,80
Centro	6	42	43,80
Sul	6	36	37,50

Tabela 4.3 - Número de deslocações em vazio realizados pelo Serviço_LAS em cada região espanhola, por comunidade autónoma e província, e respetiva percentagem de províncias por região

Região geográfica de Espanha	Número de comunidades autónomas por região	Número de províncias por região	Percentagem de províncias por região (%)
Norte	6	13	59,10
Centro	3	7	31,80
Sul	1	2	9,10

4.2.1.3 Determinação da procura e das potenciais localizações

I. Procura

Devido à alteração da formulação clássica do problema de localização simples, onde o vetor J constitui os concelhos associados aos pontos de carga/descarga em vez dos clientes, surgiram dois tipos de procura, com aplicações e significados distintos:

- **Vetor procura (d_j):** Esta procura constitui uma variável do problema de PL, pois corresponde à frequência de deslocações em vazio realizadas entre a base atual, em Torres Vedras, e os pontos de carga/descarga (concelhos), durante o ano de 2019;
- **Procura pelos produtos transportados por cada serviço:** Esta procura não faz parte da formulação do problema de PL e serve apenas para delinear os cenários. Ou seja, a frequência das deslocações em vazio depende da quantidade de produtos de um certo tipo que são transportados ao longo do ano (por exemplo, se a procura do vinho aumenta, o número de deslocações para transporte dessa mercadoria também aumenta e, consequentemente, as deslocações em vazio). Por sua vez, a procura pelos produtos varia com as flutuações do mercado, razão pela qual será analisada para a definição dos cenários. Determinados os cenários, definem-se os novos vetores procura (d_j) resultantes, para se poderem desenvolver os problemas sob incerteza.

O vetor procura (d_j), Tabela 4.4, traduz o número de deslocações em vazio realizadas entre a base atual, em Torres Vedras, e os pontos de carga/descarga (concelhos), durante o ano de 2019.

Tabela 4.4 - Procura do Serviço_LAS em 2019

Serviço_LAS					
Concelho	Procura em 2019 (a)	Concelho	Procura em 2019 (a)	Concelho	Procura em 2019 (a)
Torres Vedras	237	Mangualde	7	Guadalajara	2
Almada	156	Montijo	7	Miranda do Corvo	2
Barreiro	89	Pinhel	7	Moimenta da Beira	2
Azambuja	80	Águeda	6	Montemor-o-Velho	2
Gavião	62	Moura	6	Oliveira do Hospital	2
Vila Franca de Xira	62	Porto de Mós	6	Paços de Ferreira	2
Silves	42	Reguengos de Monsaraz	6	Póvoa de Varzim	2
Lourinhã	37	Cáceres	5	Redondo	2
Anadia	32	Coimbra	5	Rio Maior	2
Setúbal	31	Ferreira do Alentejo	5	Santa Comba Dão	2
Lisboa	30	Freixo de Espada à Cinta	5	Segóvia	2
Barcelos	26	Navarra	5	Sines	2
Estremoz	26	Oliveira do Bairro	5	Sousel	2
Sevilha	26	Penamacor	5	Tarragona	2
Alenquer	25	Pombal	5	Vila do Conde	2
Alpiarça	24	Sobral de Monte Agraço	5	Vila Nova de Famalicão	2
Cartaxo	23	Albergaria-a-Velha	4	Albacete	1
Badajoz	21	Alcobaça	4	Barcelona	1
Oliveira de Frades	20	Aveiro	4	Borba	1
Ovar	20	Cantanhede	4	Celorico de Basto	1
Almeirim	19	Lugo	4	Cidade Real	1
Torres Novas	19	Ourense	4	Córdoba	1
Cadaval	18	Paredes	4	Faro	1
Sintra	18	Toledo	4	Figueira de Castelo Rodrigo	1
Zamora	16	Batalha	3	Góis	1
Entroncamento	15	Burgos	3	Leiria	1
Ílhavo	15	Cuba	3	Lérida	1
Peniche	15	Mourão	3	Mafra	1
Santarém	15	Palmela	3	Maia	1
Vila Nova de Gaia	14	São João da Pesqueira	3	Mogadouro	1
Bombarral	13	Serpa	3	Montemor-o-Novo	1
Arruda dos Vinhos	12	Valência	3	Mortágua	1
Figueira da Foz	12	Valladolid	3	Penafiel	1
Ponte de Sor	11	Vila Nova de Poiares	3	Ponte de Lima	1
Loures	10	Aljón	2	Portalegre	1
Corunha	9	Arraiolos	2	Saragoça	1
Beja	8	Astúrias	2	Tomar	1
Vidigueira	8	Benavente	2	Trofa	1
Avis	7	Figueiras	2	Vila Real	1
Golegã	7				

(a) Número de deslocações em vazio/ano

II. Potenciais localizações a analisar

Uma vez identificados os concelhos (apresentados no anexo C), determinam-se as potenciais localizações a estudar para o estacionamento das viaturas (vetor I), através de uma Análise ABC.

Os concelhos mais visitados (classe A) estão associados a um vetor procura (d_j) que representa a frequência anual, em 2019, de viagens em vazio que as viaturas realizam para/de os pontos de carga/descarga, com referência à base de Torres Vedras. O produto entre o vetor procura e o vetor de distâncias, em quilómetros, entre os concelhos j e o concelho de Torres Vedras, origina o vetor de distâncias anuais percorridas em vazio de/para a sede (frequência absoluta). A partir deste vetor é realizada a Análise ABC (Tabela D1 e Figura D1 do anexo D).

Para este serviço verificou-se que 67,81 % do número de quilómetros percorridos anualmente em vazio (143 941,20 km) estão associados a 23,73 % dos concelhos (28 concelhos). Estes valores correspondem às localizações classificadas como classe A. A razão pela qual não se analisam também os concelhos de classe B reside no facto de apenas se pretenderem estudar os locais mais críticos, em termos de quilómetros em vazio percorridos anualmente. A Tabela E1, no anexo E, apresenta o resumo das potenciais localizações (vetor I) a analisar para o Serviço_LAS.

Adicionalmente, a empresa solicitou o estudo das localizações Vila Franca de Xira, Azambuja, Barreiro e Torres Vedras, pelo que se tomou este pedido em consideração, introduzindo no vetor I as localizações em falta. É de salientar que Vila Franca de Xira e a Azambuja já pertenciam à classe A, de modo que apenas se acrescentaram as duas últimas localizações ao vetor.

4.2.1.4 Custos

I. Custos fixos

De modo a se obter o custo fixo da instalação para cada localização i , correspondente à área de 46 000 m², foi necessário obter informação sobre o custo por metro quadrado (m²) nos concelhos correspondentes às localizações a analisar. Para tal, procedeu-se à recolha dos preços de venda e áreas de vários terrenos industriais em cada concelho, através de diversos *websites* imobiliários. Seguidamente, determinou-se o custo/m² para cada terreno e a respetiva média para cada concelho, dada a variação dos preços dos terrenos em cada concelho. Por fim, para cada localização i , calculou-se o produto entre a área especificada pela empresa e o custo/m², obtendo-se o vetor dos custos fixos. Contudo, devido à falta de informação disponível, não foi possível recolher muita informação sobre este tema para alguns concelhos. A Tabela 4.5 apresentam os custos fixos de instalação (em €/m² e €), para o serviço, utilizados em todos os problemas de PL.

Tabela 4.5 - Custos fixos de instalação (em €/m² e €) para o Serviço_LAS

Serviço_LAS		
Potenciais localizações	Custo fixo unitário (a)	Custo fixo de instalação (b)
Almada	77,07	3 545 426,40
Alpiarça	25,97	1 194 466,67
Anadia	32,05	1 474 473,12
Azambuja	0,00	0,00
Badajoz	74,04	3 405 698,18
Barcelos	45,25	2 081 513,35
Barreiro	51,69	2 377 722,63
Burgos	58,84	2 706 785,21
Cartaxo	40,66	1 870 509,36
Corunha	142,97	6 576 610,01
Freixo de Espada à Cinta	33,95	1 561 501,79
Gavião	24,86	1 143 647,57
Ílhavo	92,99	4 277 683,58
Lugo	63,61	2 925 895,37
Navarra	56,90	2 617 308,20
Oliveira de Frades	34,63	1 593 182,02
Ovar	49,65	2 283 772,05
Pinhel	31,50	1 449 027,35
Setúbal	70,07	3 223 163,00
Sevilha	232,05	10 674 223,06
Silves	71,88	3 306 573,10
Tarragona	48,26	2 219 776,63
Toledo	80,82	3 717 789,52
Torres Novas	60,30	2 773 681,85
Torres Vedras	0,00	0,00
Valência	76,81	3 533 194,66
Vila Franca de Xira	64,45	2 964 603,84
Vila Nova de Gaia	81,10	3 730 763,78
Zamora	57,36	2 638 580,99

(a) €/m²

(b) €

O problema de PL base considera o facto de a empresa possuir instalações na Azambuja e Torres Vedras, o que resulta em custos fixos nulos. Nas abordagens ‘Liquidação de todas as instalações’ e ‘Junção das abordagens 1 e 2’ esses custos passam a ser superiores a zero, (anexo J, Tabela J7).

II. Custos variáveis

a) Custos associados às deslocações em vazio das viaturas

Segundo os dados da empresa, o custo por quilómetro para o Serviço_LAS é de 0,93 €/km. Para criar a matriz de custos variáveis anuais (c_{ij}), associados a quilómetros percorridos em vazio entre

cada par i e j , foi desenvolvida uma matriz de distâncias (Tabela F1 do anexo F) em função dos vetores I e J , que, multiplicada pelo valor unitário do custo por quilómetro, originou uma matriz de custos por deslocação. Seguidamente, determinou-se o produto entre esta matriz e o vetor da procura, resultando numa matriz de custos anuais de deslocações em vazio entre cada potencial localização e cada concelho (Tabela F2 do mesmo anexo), que será analisada no problema de PL.

b) Custos associados às deslocações dos motoristas

Esta alteração na formulação clássica do UFLP é relevante para o estudo, uma vez que:

- Ao se alterar a zona de estacionamento das viaturas, os motoristas terão de se deslocar (por meio próprio) para a nova localização, ao serviço da entidade patronal, incorrendo em custos de deslocação por quilómetro que a empresa é obrigada, por lei, a suportar. Acresce o facto de a maioria residir dentro, ou perto, do concelho de Torres Vedras;
- A empresa pretende mudar a localização atual (em vez de se expandir para uma nova instalação), pelo que não existe a possibilidade de manter os motoristas atuais em Torres Vedras através de outros serviços e da contratação de novos motoristas que habitem mais perto da nova instalação.

Segundo os dados recolhidos, atualmente a empresa emprega 26 motoristas para realizarem o Serviço_LAS, cujos locais de residência, em cada serviço, se situam ao longo de 11 concelhos (por razões de confidencialidade não serão especificadas estas localizações). De acordo com o guia fiscal apresentado pela PricewaterhouseCoopers (2020), a tributação de remunerações, subsídios e abonos, referentes à deslocação dos trabalhadores através de carro próprio, considera o valor de 0,36 €/km. Este valor corresponde ao custo unitário de deslocação dos trabalhadores. A Tabela 4.6 apresenta o custo anual de deslocação dos motoristas do serviço.

4.2.2 Problema de programação linear

Esta subsecção destina-se à apresentação dos resultados da análise dos problemas de PL base e abordagens e está dividida em duas partes: i) determinação da solução; ii) análise de sensibilidade.

4.2.2.1 Determinação da solução ótima dos problemas de PL base e das abordagens

Antes de se aplicarem as seguintes abordagens, é necessário definir o valor de p (número de instalações a localizar):

- **Abordagem ‘Forçar o problema a abrir mais uma instalação’:** Uma vez que na análise deste serviço apenas se consideram as bases já existentes na Azambuja e em Torres Vedras, para se forçar o problema a abrir mais uma instalação definiu-se o valor 3 para p ;
- **Abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’:** Considerando as bases atuais na Azambuja e em Torres Vedras, como se pretende liquidar uma das duas e substituir por outra, define-se o valor 2 para p . Assim, a abordagem dá origem a dois problemas (um com o custo fixo da Azambuja nulo e de Torres Vedras não nulo, e vice-versa).

Tabela 4.6 - Custo anual de deslocação por motorista para o Serviço_LAS

Serviço_LAS			
Potenciais localizações	Custo diário de deslocação dos motoristas (a)	Custo diário de deslocação por motorista (b)	Custo anual de deslocação por motorista (c)
Almada	627,84	24,15	11 107,94
Alpiarça	880,34	33,86	15 575,32
Anadia	1 845,72	70,99	32 655,05
Azambuja	701,39	26,98	12 409,17
Badajoz	2 826,72	108,72	50 011,20
Barcelos	3 145,68	120,99	55 654,34
Barreiro	806,47	31,02	14 268,35
Burgos	6 591,24	253,51	116 614,25
Cartaxo	672,23	25,85	11 893,26
Corunha	5 464,80	210,18	96 684,92
Freixo de Espada à Cinta	4 070,16	156,54	72 010,52
Gavião	1 588,32	61,09	28 101,05
Ílhavo	1 972,15	75,85	34 891,92
Lugo	5 384,52	207,10	95 264,58
Navarra	8 559,36	329,21	151 434,83
Oliveira de Frades	2 414,45	92,86	42 717,16
Ovar	2 299,68	88,45	40 686,65
Pinhel	3 165,12	121,74	55 998,28
Setúbal	849,38	32,67	15 027,56
Sevilha	4 175,28	160,59	73 870,34
Silves	2 678,76	103,03	47 393,45
Tarragona	11 031,84	424,30	195 178,71
Toledo	5 538,60	213,02	97 990,62
Torres Novas	1 079,93	41,54	19 106,42
Torres Vedras	339,80	13,07	6 011,92
Valência	8 629,20	331,89	152 670,46
Vila Franca de Xira	595,73	22,91	10 539,80
Vila Nova de Gaia	2 542,82	97,80	44 988,42

(a) €/dia

(b) €/motorista.dia

(c) €/motorista.ano

Aplicando a formulação dos problemas de PL apresentada na secção 3.1.1 e considerando os valores de p definidos acima para cada abordagem, obtiveram-se os resultados apresentados na

Tabela 4.7. No anexo G, apresenta-se a afetação dos concelhos às localizações ótimas, sendo que a Tabela G1 corresponde ao problema base, a G2 à primeira abordagem, a G3 à quarta e as G4 e G5 à quinta abordagem, para a liquidação da base em Torres Vedras e na Azambuja, respetivamente. Na segunda e terceira abordagens, todos os concelhos foram alocados a Alpiarça.

Tabela 4.7 - Resultados obtidos pelos seis problemas de PL (Serviço_LAS)

Problemas de PL	Solução ótima		Custo total (€)
	Localizações ótimas	Número de concelhos alocados por localização	
Base	Azambuja	96	175 968,09
	Torres Vedras	22	
Abordagem ‘Introdução do custo de deslocação dos motoristas’	Azambuja	4	352 078,21
	Torres Vedras	114	
Abordagem ‘Liquidação de todas as instalações atuais	Alpiarça	118	1 400 309,98
Abordagem ‘Junção das abordagens 1 e 2’	Alpiarça	118	1 805 268,22
Abordagem ‘Forçar o problema a abrir mais uma instalação’	Azambuja	26	1 292 503,37
	Gavião	79	
	Torres Vedras	13	
Abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’	Em Torres Vedras	Azambuja	1 312 799,41
		Gavião	
	Na Azambuja	Gavião	1 306 745,58
		Torres Vedras	

4.2.2.2 Análise de sensibilidade dos problemas de PL

Apenas se realizou esta análise para o problema de PL base e para as abordagens ‘Introdução do custo de deslocação dos motoristas’ e ‘Liquidação de todas as instalações atuais’, por apresentarem alterações consideráveis do problema base.

I. Problema de PL base

a) Análise dos custos fixos

A Tabela 4.8 apresenta o resultado da análise de sensibilidade, correspondente ao quadro das variáveis de decisão. Nesta tabela verificam-se os seguintes aspetos:

- **Variáveis que pertencem à solução ótima** (*final value* igual a 1): Constituem as localizações da Azambuja e Torres Vedras (a cinzento). Caraterizam-se por:
 - › Não ser possível aumentar o seu coeficiente (ou *objective value*) sem que a solução mude imediatamente (*allowable increase* igual a 0). Isto significa que o problema é muito sensível a custos fixos bastante elevados;

Relativamente à análise das restrições, a Tabela 4.9 apresenta os seguintes resultados:

- **Restrição “ ≤ 1 ”:** Todas as variáveis podem aumentar o valor do lado direito da restrição (*RHS value*) infinitamente, sem que a solução se altere e sem acrescer custos (*shadow price* igual a 0). Adicionalmente, as variáveis podem, ou não, pertencer à solução ótima:
 - › As localizações Azambuja e Torres Vedras (a azul claro) pertencem à solução e podem diminuir o lado direito da restrição em valores menores que 1, o que na prática não é possível por se estar a utilizar variáveis binárias;
 - › As que não pertencem à solução (a branco) podem diminuir do lado direito da restrição até uma unidade, ficando a zero, sem que a solução se altere.
- **Restrição “ ≥ 0 ”:** Relativamente à análise do preço sombra:
 - › As localizações Azambuja, Gavião e Torres Vedras (a cinzento escuro) podem aumentar o lado direito da restrição até uma unidade sem aumentar o custo da solução (*shadow price* igual a 0). No entanto, por ser possível diminuir o lado direito infinitamente, estas restrições são consideradas não determinantes para o problema de PL;
 - › Relativamente às restantes localizações (a cinzento claro), não se pode diminuir o RHS sem aumentar o custo total (*shadow price* superior a 0). Contrariamente, podem aumentar o RHS em mais 0,01 sem acrescer custos, embora, na realidade, não seja possível por serem variáveis binárias.

b) Análise dos custos variáveis

Relativamente à análise dos custos variáveis, as variáveis de decisão correspondentes aos custos variáveis podem, ou não, pertencer à solução ótima:

- **Variáveis que pertencem à solução:** São apresentadas na Tabela 4.10. Qualquer aumento/diminuição no coeficiente das variáveis que pertençam à solução ótima, aumenta/diminui também o custo total dessa solução, mesmo que esta não se altere. Relativamente à diminuição permissível, é possível distinguir:
 - › Variáveis cujo coeficiente pode diminuir infinitamente e, consequentemente, diminuir o custo total da solução, sem que esta se altere, destacando-se:
 - Aquelas cujo coeficiente de valor zero não pode aumentar mais sem mudar a solução, nomeadamente os custos variáveis de Azambuja a Azambuja e de Torres Vedras a Torres Vedras (a verde claro);

- Aquela cujo coeficiente de valor zero pode aumentar até um certo valor, que corresponde ao custo variável de Albergaria-a-Velha à Azambuja (a verde escuro);
 - As restantes (a branco) cujo coeficiente de valor superior a zero pode aumentar até um determinado valor. Dada a elevada quantidade de variáveis deste tipo, apenas se apresentam as que permitem aumentos mais reduzidos (abaixo de 30,00 €), por serem mais sensíveis a variações;
- › Variáveis cujo coeficiente pode diminuir até uma quantidade máxima inferior a esse coeficiente (a cinzento);
- **Variáveis que não pertencem à solução:** A Tabela 4.11 apresenta apenas algumas das variáveis, dado existirem mais de 3000. A maior parte permite aumentos infinitos dos coeficientes sem que a solução se altere. No entanto, considerou-se mais relevante analisar as diminuições permissíveis, dado tratar-se de um problema de minimização de custos. A destacar:
 - › Variáveis cujo coeficiente pode diminuir até um valor máximo inferior a esse coeficiente, i.e., sem se tornar nulo. Para estas variáveis calculou-se a percentagem máxima de diminuição, com o mesmo objetivo referido nos custos fixos. De entre estas variáveis, podem destacar-se aquelas em que uma diminuição do coeficiente em menos de 10 % altera a solução (a azul claro). Contrariamente, existem variáveis que têm de diminuir o coeficiente em mais de 90 % para que tal aconteça. Dada a elevada quantidade de variáveis, apenas se destacam as mais sensíveis à diminuição dos seus coeficientes;
 - › Variáveis cujo coeficiente pode diminuir, no máximo, até atingir valor zero (a verde claro), o que na prática não é possível pois não podem existir custos de deslocação nulos entre dois concelhos diferentes;
 - › Variáveis que apresentam diminuições permissíveis superiores ao seu coeficiente, o que pode originar valores negativos. Como não podem existir custos de deslocação negativos, estipulou-se que, para estas variáveis, só são possíveis diminuições máximas até valores inferiores aos seus coeficientes. No fundo, isto significa que os coeficientes destas variáveis podem diminuir para além do seu valor, sem que isso influencie a decisão. Por este motivo, e pela elevada quantidade de variáveis, estas não são apresentadas.

Tabela 4.9 - AS do problema de PL base, Serviço_LAS (restrições associadas aos custos fixos)

Constraints						
Cells	Name	Final Value	Shadow Price	RHS Value	Allowable Increase	Allowable Decrease
B133<=1	CF: Almada	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
C133<=1	CF: Alpiarça	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
D133<=1	CF: Anadia	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
E133<=1	CF: Azambuja	1,00	0,00	1,00	1E+100	0,19
F133<=1	CF: Badajoz	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
G133<=1	CF: Barcelos	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
H133<=1	CF: Barreiro	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
I133<=1	CF: Burgos	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
J133<=1	CF: Cartaxo	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
K133<=1	CF: Corunha	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
L133<=1	CF: Freixo de Espada à Cinta	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
M133<=1	CF: Gavião	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
N133<=1	CF: Ílhavo	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
O133<=1	CF: Lugo	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
P133<=1	CF: Navarra	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
Q133<=1	CF: Oliveira de Frades	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
R133<=1	CF: Ovar	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
S133<=1	CF: Pinhel	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
T133<=1	CF: Setúbal	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
U133<=1	CF: Sevilha	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
V133<=1	CF: Silves	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
W133<=1	CF: Tarragona	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
X133<=1	CF: Toledo	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
Y133<=1	CF: Torres Novas	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
Z133<=1	CF: Torres Vedras	1,00	0,00	1,00	1E+100	0,81
AA133<=1	CF: Valência	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
AB133<=1	CF: Vila Franca de Xira	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
AC133<=1	CF: Vila Nova de Gaia	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
AD133<=1	CF: Zamora	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
B133>=0	CF: Almada	0,00	2 518 260,00	0,00	0,01	0,00
C133>=0	CF: Alpiarça	0,00	897 817,50	0,00	0,01	0,00
D133>=0	CF: Anadia	0,00	814 277,28	0,00	0,01	0,00
E133>=0	CF: Azambuja	1,00	0,00	0,00	1,00	1E+100
F133>=0	CF: Badajoz	0,00	2 749 453,00	0,00	0,01	0,00
G133>=0	CF: Barcelos	0,00	1 134 237,70	0,00	0,01	0,00
H133>=0	CF: Barreiro	0,00	1 562 189,80	0,00	0,01	0,00
I133>=0	CF: Burgos	0,00	2 246 755,10	0,00	0,01	0,00
J133>=0	CF: Cartaxo	0,00	1 738 525,10	0,00	0,00	0,00
K133>=0	CF: Corunha	0,00	6 016 606,80	0,00	0,01	0,00
L133>=0	CF: Freixo de Espada à Cinta	0,00	938 178,59	0,00	0,01	0,00
M133>=0	CF: Gavião	0,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
N133>=0	CF: Ílhavo	0,00	3 718 448,50	0,00	0,01	0,00
O133>=0	CF: Lugo	0,00	2 461 793,90	0,00	0,01	0,00
P133>=0	CF: Navarra	0,00	1 763 618,80	0,00	0,01	0,00
Q133>=0	CF: Oliveira de Frades	0,00	1 035 702,80	0,00	0,01	0,00
R133>=0	CF: Ovar	0,00	1 612 119,40	0,00	0,01	0,00
S133>=0	CF: Pinhel	0,00	971 438,87	0,00	0,01	0,00
T133>=0	CF: Setúbal	0,00	2 729 936,60	0,00	0,01	0,00
U133>=0	CF: Sevilha	0,00	9 421 650,70	0,00	0,01	0,00
V133>=0	CF: Silves	0,00	2 075 948,70	0,00	0,01	0,00
W133>=0	CF: Tarragona	0,00	1 955 303,20	0,00	0,01	0,00
X133>=0	CF: Toledo	0,00	3 424 564,20	0,00	0,01	0,00
Y133>=0	CF: Torres Novas	0,00	2 315 100,30	0,00	0,01	0,00
Z133>=0	CF: Torres Vedras	1,00	0,00	0,00	1,00	1E+100
AA133>=0	CF: Valência	0,00	3 229 983,00	0,00	0,01	0,00
AB133>=0	CF: Vila Franca de Xira	0,00	2 726 643,60	0,00	0,01	0,00
AC133>=0	CF: Vila Nova de Gaia	0,00	2 977 223,10	0,00	0,01	0,00
AD133>=0	CF: Zamora	0,00	1 781 731,10	0,00	0,01	0,00

Adicionalmente, é possível verificar que os custos variáveis são muito mais reduzidos que os fixos, o que também aumenta a sensibilidade do problema a custos fixos muito elevados. A análise das restrições é mais reduzida, devido à natureza de cada uma. Para a restrição 3.2, que garante que cada concelho é afeto a instalações abertas, não faz sentido referir aumentos/diminuições do RHS. Relativamente às restrições 3.7 e 3.8, que substituem as restrições binárias, essa variação

também não é adequada. Apenas serão analisadas as alterações na restrição 3.3 (Tabela 4.12), que garante a satisfação de todos os concelhos por exatamente uma instalação:

- Para esta restrição, todas as variáveis pertencem à solução ótima e o preço sombra é sempre superior a zero, variando apenas os aumentos/diminuições permissíveis:
 - › Existem variáveis que não permitem aumentar o RHS, mas permitem diminuí-lo em uma unidade (a branco). Contudo, esta redução não faz sentido para o problema, pois cada concelho tem de estar afeto a alguma instalação aberta (diminuir 1 significa que a restrição ficaria igual a 0). Dada a elevada quantidade de restrições, estas não são apresentadas, por não serem relevantes para o estudo;
 - › Existe apenas uma variável que não permite aumentar nem diminuir o RHS, que corresponde ao custo variável de Badajoz (a cinzento). Ou seja, este concelho só pode estar alocado a uma instalação;
 - › Existem variáveis que não permitem diminuir, mas podem aumentar o RHS em uma unidade (a verde). No entanto, foi definido que cada concelho é afeto a apenas uma instalação aberta, pelo que este aumento (alocar a duas instalações) não faria sentido, exceto se a procura do concelho pudesse ser satisfeita por mais do que uma instalação, provocando um aumento do custo total (CT') e a alteração da solução. Por exemplo, se Águeda (célula AE137 da Tabela 4.12) pudesse ser servida por duas instalações, em vez de uma, o novo custo (CT') seria a soma do custo total inicial (CT) e o preço sombra de Águeda ($CT' = CT + 1199,70$).

Verificaram-se ainda preços sombra negativos, correspondentes a diminuições do RHS que provocam a redução do custo total e da solução. Contudo, estas alterações equivalem às restrições que garantem variáveis de decisão inferiores a um e concelhos afetos a instalações abertas. Neste último caso, esta alteração não se adequa. Quanto à primeira restrição, diminuindo o RHS, esta passava a garantir valores inferiores a zero, o que, para este problema, não faz sentido, não sendo possível reduzir o custo total através destas alterações.

Tabela 4.10 - AS do problema de PL base, Serviço_LAS (variáveis de decisão dos custos variáveis, pertencentes à solução ótima)

Cells	Name	Decision Variables				
		Final Value	Reduced Costs	Objective Value	Allowable Increase	Allowable Decrease
E137	CV: Águeda - Azambuja	1,00	0,00	1 194,12	5,58	1E+100
...						
E139	CV: Albergaria-a-Velha - Azambuja	1,00	0,00	829,56	0,00	1E+100
...						
E142	CV: Alijó - Azambuja	1,00	0,00	725,40	5,58	1E+100
Z143	CV: Almada - Torres Vedras	1,00	0,00	8 704,80	145,08	427,43
...						
E146	CV: Anadia - Azambuja	1,00	0,00	5 594,88	102,67	1 315,02
...						
Z148	CV: Arruda dos Vinhos - Torres Vedras	1,00	0,00	294,62	13,39	1E+100
E149	CV: Astúrias - Azambuja	1,00	0,00	1 437,78	3,72	1E+100
Z150	CV: Aveiro - Torres Vedras	1,00	0,00	770,04	22,32	1E+100
...						
E152	CV: Azambuja - Azambuja	1,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
...						
E154	CV: Barcelona - Azambuja	1,00	0,00	1 172,73	22,32	1E+100
Z155	CV: Barcelos - Torres Vedras	1,00	0,00	8 027,76	24,18	102,67
E156	CV: Barreiro - Azambuja	1,00	0,00	6 911,29	182,09	1 394,35
...						
E161	CV: Borba - Azambuja	1,00	0,00	180,42	22,32	1E+100
...						
Z165	CV: Cantanhede - Torres Vedras	1,00	0,00	658,44	11,16	1E+100
...						
E167	CV: Celorico de Basto - Azambuja	1,00	0,00	314,34	2,79	1E+100
...						
E170	CV: Córdoba - Azambuja	1,00	0,00	480,81	22,32	1E+100
E171	CV: Corunha - Azambuja	1,00	0,00	4 745,79	125,55	1 210,02
...						
E175	CV: Faro - Azambuja	1,00	0,00	271,56	22,32	1E+100
...						
E179	CV: Figueiras - Azambuja	1,00	0,00	561,72	5,58	1E+100
...						
E181	CV: Gavião - Azambuja	1,00	0,00	7 322,82	80,63	361,96
E182	CV: Góis - Azambuja	1,00	0,00	170,19	19,53	1E+100
...						
Z186	CV: Leiria - Torres Vedras	1,00	0,00	91,70	7,81	1E+100
E187	CV: Lérda - Azambuja	1,00	0,00	1 024,86	21,39	1E+100
...						
E191	CV: Lugo - Azambuja	1,00	0,00	2 116,68	11,16	1E+100
...						
E193	CV: Maia - Azambuja	1,00	0,00	260,40	2,79	1E+100
...						
E197	CV: Moimenta da Beira - Azambuja	1,00	0,00	593,34	13,02	1E+100
E198	CV: Montemor-o-Novo - Azambuja	1,00	0,00	108,81	22,32	1E+100
Z199	CV: Montemor-o-Velho - Torres Vedras	1,00	0,00	288,30	26,04	1E+100
E200	CV: Montijo - Azambuja	1,00	0,00	421,20	13,67	1E+100
E201	CV: Mortágua - Azambuja	1,00	0,00	192,51	6,51	1E+100
...						
E204	CV: Navarra - Azambuja	1,00	0,00	4 073,40	227,85	388,74
Z205	CV: Oliveira de Frades - Torres Vedras	1,00	0,00	4 724,40	18,60	468,72
E206	CV: Oliveira do Bairro - Azambuja	1,00	0,00	971,85	9,30	1E+100
E207	CV: Oliveira do Hospital - Azambuja	1,00	0,00	440,82	13,02	1E+100
E208	CV: Ourense - Azambuja	1,00	0,00	1 785,60	7,44	1E+100
...						
E210	CV: Paços de Ferreira - Azambuja	1,00	0,00	558,00	3,72	1E+100
E211	CV: Palmela - Azambuja	1,00	0,00	234,36	5,86	1E+100
E212	CV: Paredes - Azambuja	1,00	0,00	1 089,96	11,16	1E+100
E213	CV: Penafiel - Azambuja	1,00	0,00	277,14	2,79	1E+100
...						
E218	CV: Ponte de Lima - Azambuja	1,00	0,00	326,43	2,79	1E+100
...						
E222	CV: Póvoa de Varzim - Azambuja	1,00	0,00	567,30	5,58	1E+100
...						
E226	CV: Santa Comba Dão - Azambuja	1,00	0,00	396,18	13,02	1E+100
...						
Z228	CV: São João da Pesqueira - Torres Vedras	1,00	0,00	1 004,40	2,79	1E+100
E229	CV: Saragoça - Azambuja	1,00	0,00	887,22	22,32	1E+100
...						
E232	CV: Setúbal - Azambuja	1,00	0,00	2 511,09	23,06	1E+100
Z233	CV: Sevilha - Torres Vedras	1,00	0,00	10 615,02	487,51	874,20
E234	CV: Silves - Azambuja	1,00	0,00	10 429,02	937,44	8 035,20
...						
E240	CV: Toledo - Azambuja	1,00	0,00	2 243,16	26,04	1E+100
...						
Z243	CV: Torres Vedras - Torres Vedras	1,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
E244	CV: Trofa - Azambuja	1,00	0,00	277,14	2,79	1E+100
Z245	CV: Valência - Torres Vedras	1,00	0,00	2 569,59	142,29	690,99
...						
E248	CV: Vila do Conde - Azambuja	1,00	0,00	552,42	5,58	1E+100
...						
E250	CV: Vila Nova de Famalicão - Azambuja	1,00	0,00	571,02	5,58	1E+100
...						
E252	CV: Vila Nova de Poiares - Azambuja	1,00	0,00	507,78	19,53	1E+100
E253	CV: Vila Real - Azambuja	1,00	0,00	330,15	1,86	1E+100
E254	CV: Zamora - Azambuja	1,00	0,00	7 261,44	669,60	241,80

Tabela 4.11 - AS do problema de PL base, Serviço_LAS (variáveis de decisão dos custos variáveis, não pertencentes à solução ótima)

Decision Variables															
Cells	Name	Final Value	Reduced Costs	Objective Value	Allowable Increase	Allowable Decrease	Change in Allowable Decrease (%)	Cells	Name	Final Value	Reduced Costs	Objective Value	Allowable Increase	Allowable Decrease	Change in Allowable Decrease (%)
...								Z201	CV: Mortágua - Torres Vedras	0,00	0,00	199,02	1E+100	6,51	3,27
Z137	CV: Águeda - Torres Vedras	0,00	0,00	1 199,70	1 012,49	5,58	0,47	...							
...								Z202	CV: Moura - Torres Vedras	0,00	0,00	1 383,84	1 073,87	128,34	9,27
Z138	CV: Albacete - Torres Vedras	0,00	0,00	796,08	1 047,83	41,85	5,26	...							
...								Z204	CV: Navarra - Torres Vedras	0,00	0,00	4 301,25	1E+100	227,85	5,30
Z139	CV: Albergaria-a-Velha - Torres Vedras	0,00	0,00	829,56	1E+100	0,00	0,00	...							
...								E205	CV: Oliveira de Frades - Azambuja	0,00	0,00	4 743,00	1E+100	18,60	0,39
Z142	CV: Alijó - Torres Vedras	0,00	0,00	730,98	1E+100	5,58	0,76	...							
...								Z206	CV: Oliveira do Bairro - Torres Vedras	0,00	0,00	981,15	1E+100	9,30	0,95
E143	CV: Almada - Azambuja	0,00	0,00	8 849,88	1E+100	145,08	1,64	...							
...								Z207	CV: Oliveira do Hospital - Torres Vedras	0,00	0,00	453,84	1E+100	13,02	2,87
Z146	CV: Anadia - Torres Vedras	0,00	0,00	5 832,96	1E+100	238,08	4,08	...							
...								Z208	CV: Ourense - Torres Vedras	0,00	0,00	1 793,04	1E+100	7,44	0,41
E148	CV: Arruda dos Vinhos - Azambuja	0,00	0,00	308,02	1E+100	13,39	4,35	...							
...								E209	CV: Ovar - Azambuja	0,00	0,00	4 519,80	1E+100	37,20	0,82
Z149	CV: Astúrias - Torres Vedras	0,00	0,00	1 441,50	1 081,31	3,72	0,26	...							
...								Z210	CV: Paços de Ferreira - Torres Vedras	0,00	0,00	561,72	1E+100	3,72	0,66
E150	CV: Aveiro - Azambuja	0,00	0,00	792,36	1 047,83	22,32	2,82	...							
...								Z211	CV: Palmela - Torres Vedras	0,00	0,00	240,22	1 160,08	5,86	2,44
Z152	CV: Azambuja - Torres Vedras	0,00	0,00	5 661,84	1E+100	5 661,84	-	...							
...								Z212	CV: Paredes - Torres Vedras	0,00	0,00	1 101,12	1 040,39	11,16	1,01
Z154	CV: Barcelona - Torres Vedras	0,00	0,00	1 195,05	1 111,07	22,32	1,87	...							
...								Z213	CV: Penafiel - Torres Vedras	0,00	0,00	279,93	1 098,98	2,79	1,00
E155	CV: Barcelos - Azambuja	0,00	0,00	8 051,94	1E+100	24,18	0,30	...							
...								Z217	CV: Pombal - Torres Vedras	0,00	0,00	627,75	1E+100	37,20	5,93
J155	CV: Barcelos - Cartaxo	0,00	0,00	7 519,98	1E+100	610,73	8,12	...							
...								Z218	CV: Ponte de Lima - Torres Vedras	0,00	0,00	329,22	1 098,98	2,79	0,85
Z156	CV: Barreiro - Torres Vedras	0,00	0,00	7 093,39	1E+100	182,09	2,57	...							
...								Z222	CV: Póvoa de Varzim - Torres Vedras	0,00	0,00	572,88	1E+100	5,58	0,97
AB156	CV: Barreiro - Vila Franca de Xira	0,00	0,00	5 322,11	1E+100	427,43	8,03	...							
...								Z226	CV: Santa Comba Dão - Torres Vedras	0,00	0,00	409,20	1E+100	13,02	3,18
Z162	CV: Burgos - Torres Vedras	0,00	0,00	1 992,06	1E+100	125,55	6,30	...							
...								E228	CV: São João da Pesqueira - Azambuja	0,00	0,00	1 007,19	1 065,50	2,79	0,28
Z163	CV: Cáceres - Torres Vedras	0,00	0,00	1 646,10	774,41	111,60	6,78	...							
...								Z229	CV: Saragoça - Torres Vedras	0,00	0,00	909,54	1 111,07	22,32	2,45
E165	CV: Cantanhede - Azambuja	0,00	0,00	669,60	1E+100	11,16	1,67	...							
...								Z230	CV: Segóvia - Torres Vedras	0,00	0,00	1 192,26	1E+100	83,70	7,02
Z167	CV: Celorico de Basto - Torres Vedras	0,00	0,00	317,13	1E+100	2,79	0,88	...							
...								Z232	CV: Setúbal - Torres Vedras	0,00	0,00	2 534,16	1 517,85	23,06	0,91
Z168	CV: Cidade Real - Torres Vedras	0,00	0,00	563,58	1 076,66	55,80	9,90	...							
...								E233	CV: Sevilha - Azambuja	0,00	0,00	11 558,04	1E+100	943,02	8,16
Z169	CV: Coimbra - Torres Vedras	0,00	0,00	785,85	997,61	32,55	4,14	F233	CV: Sevilha - Badajoz	0,00	0,00	5 053,62	874,20	487,51	9,65
...								...							
Z170	CV: Córdoba - Torres Vedras	0,00	0,00	503,13	1E+100	22,32	4,44	J233	CV: Sevilha - Cartaxo	0,00	0,00	10 397,40	1E+100	900,89	8,66
...								...							
Z171	CV: Corunha - Torres Vedras	0,00	0,00	4 871,34	1E+100	125,55	2,58	Z234	CV: Silves - Torres Vedras	0,00	0,00	11 366,46	1E+100	937,44	8,25
...								...							
Z175	CV: Faro - Torres Vedras	0,00	0,00	293,88	1 110,14	22,32	7,59	Z239	CV: Tarragona - Torres Vedras	0,00	0,00	2 248,74	1E+100	44,64	1,99
...								...							
Z179	CV: Figueiras - Torres Vedras	0,00	0,00	567,30	1 079,45	5,58	0,98	Z240	CV: Toledo - Torres Vedras	0,00	0,00	2 269,20	1E+100	26,04	1,15
...								...							
J181	CV: Gavião - Cartaxo	0,00	0,00	6 284,94	1E+100	80,63	1,28	Z242	CV: Torres Novas - Torres Vedras	0,00	0,00	2 067,39	1 061,50	80,63	3,90
...								...							
Z184	CV: Guadalajara - Torres Vedras	0,00	0,00	1 348,50	1E+100	44,64	3,31	E243	CV: Torres Vedras - Azambuja	0,00	0,00	16 773,20	1E+100	16 773,20	-
...								...							
E185	CV: Ilhavo - Azambuja	0,00	0,00	2 957,40	1E+100	125,55	4,25	Z244	CV: Trofa - Torres Vedras	0,00	0,00	279,93	1E+100	2,79	1,00
...								...							
E186	CV: Leiria - Azambuja	0,00	0,00	99,51	1E+100	7,81	7,85	E245	CV: Valência - Azambuja	0,00	0,00	2 711,88	1E+100	142,29	5,25
...								...							
Z187	CV: Lérida - Torres Vedras	0,00	0,00	1 046,25	1 111,07	21,39	2,04	Z246	CV: Valladolid - Torres Vedras	0,00	0,00	1 643,31	1E+100	125,55	7,64
...								...							
Z188	CV: Lisboa - Torres Vedras	0,00	0,00	1 428,48	1 447,45	33,48	2,34	Z248	CV: Vila do Conde - Torres Vedras	0,00	0,00	558,00	1E+100	5,58	1,00
...								...							
Z191	CV: Lugo - Torres Vedras	0,00	0,00	2 127,84	1 044,11	11,16	0,52	Z250	CV: Vila Nova de Famalicão - Torres Vedras	0,00	0,00	576,60	1 079,45	5,58	0,97
...								...							
Z193	CV: Maia - Torres Vedras	0,00	0,00	263,19	1E+100	2,79	1,06	Z251	CV: Vila Nova de Gaia - Torres Vedras	0,00	0,00	3 489,36	1E+100	39,06	1,12
...								...							
Z194	CV: Mangualde - Torres Vedras	0,00	0,00	1 673,07	1E+100	45,57	2,72	Z252	CV: Vila Nova de Poiares - Torres Vedras	0,00	0,00	527,31	1 034,81	19,53	3,70
...								...							
Z197	CV: Moimenta da Beira - Torres Vedras	0,00	0,00	606,36	1E+100	13,02	2,15	Z253	CV: Vila Real - Torres Vedras	0,00	0,00	332,01	1E+100	1,86	0,56
...								...							
E199	CV: Montemor-o-Velho - Azambuja	0,00	0,00	314,34	1E+100	26,04	8,28	Z254	CV: Zamora - Torres Vedras	0,00	0,00	7 931,04	1E+100	669,60	8,44
...								...							

Tabela 4.12 - AS do problema de PL base, Serviço_LAS (restrições associadas aos custos variáveis)

Constraints						
Cells	Name	Final Value	Shadow Price	RHS Value	Allowable Increase	Allowable Decrease
AE137=1	CV: Águeda -	1,00	1 199,70	1,00	1,00	0,00
AE138=1	CV: Albacete -	1,00	796,08	1,00	1,00	0,00
...						
AE149=1	CV: Astúrias -	1,00	1 441,50	1,00	1,00	0,00
AE150=1	CV: Aveiro -	1,00	792,36	1,00	1,00	0,00
AE151=1	CV: Avis -	1,00	1 321,53	1,00	1,00	0,00
AE153=1	CV: Badajoz -	1,00	5 561,40	1,00	0,00	0,00
AE154=1	CV: Barcelona -	1,00	1 195,05	1,00	1,00	0,00
...						
AE157=1	CV: Batalha -	1,00	257,52	1,00	1,00	0,00
...						
AE163=1	CV: Cáceres -	1,00	1 646,10	1,00	1,00	0,00
...						
AE168=1	CV: Cidade Real -	1,00	563,58	1,00	1,00	0,00
AE169=1	CV: Coimbra -	1,00	785,85	1,00	1,00	0,00
...						
AE174=1	CV: Estremoz -	1,00	5 053,62	1,00	1,00	0,00
AE175=1	CV: Faro -	1,00	293,88	1,00	1,00	0,00
AE176=1	CV: Ferreira do Alentejo -	1,00	897,45	1,00	1,00	0,00
AE177=1	CV: Figueira da Foz -	1,00	1 696,32	1,00	1,00	0,00
AE178=1	CV: Figueira de Castelo Rodrigo -	1,00	352,47	1,00	1,00	0,00
AE179=1	CV: Figueiras -	1,00	567,30	1,00	1,00	0,00
AE180=1	CV: Freixo de Espada à Cinta -	1,00	2 101,80	1,00	1,00	0,00
...						
AE187=1	CV: Lérida -	1,00	1 046,25	1,00	1,00	0,00
AE188=1	CV: Lisboa -	1,00	1 428,48	1,00	1,00	0,00
...						
AE191=1	CV: Lugo -	1,00	2 127,84	1,00	1,00	0,00
...						
AE196=1	CV: Mogadouro -	1,00	437,10	1,00	1,00	0,00
...						
AE200=1	CV: Montijo -	1,00	434,87	1,00	1,00	0,00
...						
AE202=1	CV: Moura -	1,00	1 383,84	1,00	1,00	0,00
AE203=1	CV: Mourão -	1,00	641,70	1,00	1,00	0,00
...						
AE211=1	CV: Palmela -	1,00	240,22	1,00	1,00	0,00
AE212=1	CV: Paredes -	1,00	1 101,12	1,00	1,00	0,00
AE213=1	CV: Penafiel -	1,00	279,93	1,00	1,00	0,00
AE214=1	CV: Penamacor -	1,00	1 292,70	1,00	1,00	0,00
...						
AE216=1	CV: Pinhel -	1,00	2 265,48	1,00	1,00	0,00
...						
AE218=1	CV: Ponte de Lima -	1,00	329,22	1,00	1,00	0,00
AE219=1	CV: Ponte de Sor -	1,00	1 851,63	1,00	1,00	0,00
...						
AE224=1	CV: Reguengos de Monsaraz -	1,00	1 160,64	1,00	1,00	0,00
...						
AE228=1	CV: São João da Pesqueira -	1,00	1 007,19	1,00	1,00	0,00
AE229=1	CV: Saragoça -	1,00	909,54	1,00	1,00	0,00
...						
AE232=1	CV: Setúbal -	1,00	2 534,16	1,00	1,00	0,00
...						
AE235=1	CV: Sines -	1,00	368,28	1,00	1,00	0,00
...						
AE238=1	CV: Soussel -	1,00	383,16	1,00	1,00	0,00
...						
AE242=1	CV: Torres Novas -	1,00	2 067,39	1,00	1,00	0,00
...						
AE247=1	CV: Vidigueira -	1,00	1 674,00	1,00	1,00	0,00
...						
AE250=1	CV: Vila Nova de Famalicão -	1,00	576,60	1,00	1,00	0,00
...						
AE252=1	CV: Vila Nova de Poiares -	1,00	527,31	1,00	1,00	0,00
...						

II. Abordagem 1: Introdução dos custos de deslocações dos motoristas

Relativamente aos custos fixos, tal como no problema base, a solução ótima continua a ser localizar instalações na Azambuja e em Torres Vedras. No entanto, nesta abordagem, os custos fixos têm de diminuir mais para que a solução se altere. De destacar as províncias espanholas e o concelho de Freixo de Espada à Cinta que podem diminuir em 100% sem influenciar o resultado. Este facto mostra uma menor sensibilidade do problema a custos fixos muito superiores aos variáveis, embora ainda elevada, pois precisam de variar mais para ter impacto na solução.

Na análise dos custos variáveis, destaca-se o facto de já não existirem coeficientes nulos, devido à introdução de custos variáveis de deslocação dos motoristas. Consequentemente, a afetação dos concelhos às instalações altera e todas as variáveis que pertencem à solução ótima podem aumentar em determinado valor sem que esta se altere (tal não acontecia nas variáveis de coeficiente zero no problema base), embora tenha um impacto nos custos. Quanto às variáveis que não pertencem à solução, estas precisam de diminuir um pouco mais os seus coeficientes para mudarem o resultado, embora esta alteração face ao problema base não seja muito acentuada.

III. Abordagem 2: Liquidação de todas as instalações atuais

Nesta abordagem, por se terem retirado as restrições binárias, na prática, a solução ótima apresentada pela análise de sensibilidade não é possível, possibilitando apenas uma análise teórica (Tabela 4.13). Verifica-se que as localizações pertencentes à solução ótima possuem valores decimais entre zero e um, em vez do valor binário um. As melhores localizações deixam de ser apenas a Azambuja e Torres Vedras, e passam a ser Alpiarça, Anadia, Barreiro, Freixo de Espada à Cinta, Gavião, Oliveira de Frades e Torres Vedras (a cinzento). O problema fica mais sensível a alterações nos coeficientes, pois as variáveis pertencentes à solução apenas podem aumentar em determinado valor (em vez de infinitamente, como no problema base) e porque, em geral, os seus coeficientes não têm de diminuir muito para que a solução se altere (a azul).

Dado o aumento do peso dos custos fixos no problema, os custos variáveis das variáveis que pertencem à solução têm maior liberdade para aumentar sem a alterar, nomeadamente aquelas cujo coeficiente é nulo (no problema base não podiam aumentar), e também para diminuir (existem mais variáveis a poderem reduzir o seu coeficiente infinitamente do que no problema base). Relativamente às variáveis que não pertencem à solução, verifica-se que não precisam de aumentar tanto o seu coeficiente e têm de o diminuir mais para alterar a solução, embora estas mudanças não sejam muito acentuadas quando comparadas com o problema base e com a abordagem ‘Introdução dos custos de deslocação dos motoristas’.

Tabela 4.13 - AS do problema de PL da abordagem ‘Liquidação de todas as instalações atuais’, Serviço_LAS (variáveis de decisão dos custos fixos)

Decision Variables							
Cells	Name	Final Value	Reduced Costs	Objective Value	Allowable Increase	Allowable Decrease	Allowable Decrease (%)
B133	CF: Almada	0,00	0,00	3 545 426,40	1E+100	602 762,25	17,00
C133	CF: Alpiarça	0,17	0,00	1 194 466,67	890,39	8 624,07	0,72
D133	CF: Anadia	0,03	0,00	1 474 473,12	18 806,09	7 083,07	0,48
E133	CF: Azambuja	0,00	0,00	2 252 241,12	1E+100	353 862,80	15,71
F133	CF: Badajoz	0,00	0,00	3 405 698,18	1E+100	1 862 597,01	54,69
G133	CF: Barcelos	0,00	0,00	2 081 513,35	1E+100	164 788,03	7,92
H133	CF: Barreiro	0,01	0,00	2 377 722,63	15 104,84	118 668,22	4,99
I133	CF: Burgos	0,00	0,00	2 706 785,21	1E+100	1 206 253,69	44,56
J133	CF: Cartaxo	0,00	0,00	1 870 509,36	1E+100	254 601,81	13,61
K133	CF: Corunha	0,00	0,00	6 576 610,01	1E+100	4 871 971,56	74,08
L133	CF: Freixo de Espada à Cinta	0,01	0,00	1 561 501,79	33 260,28	21 573,60	1,38
M133	CF: Gavião	0,77	0,00	1 143 647,57	8 624,07	890,39	0,08
N133	CF: Ilhavo	0,00	0,00	4 277 683,58	1E+100	2 748 998,90	64,26
O133	CF: Lugo	0,00	0,00	2 925 895,37	1E+100	1 317 158,70	45,02
P133	CF: Navarra	0,00	0,00	2 617 308,20	1E+100	794 169,16	30,34
Q133	CF: Oliveira de Frades	0,01	0,00	1 593 182,02	21 319,34	113 002,42	7,09
R133	CF: Ovar	0,00	0,00	2 283 772,05	1E+100	642 669,71	28,14
S133	CF: Pinhel	0,00	0,00	1 449 027,35	1E+100	33 260,28	2,30
T133	CF: Setúbal	0,00	0,00	3 223 163,00	1E+100	978 972,00	30,37
U133	CF: Sevilha	0,00	0,00	10 674 223,06	1E+100	8 534 794,73	79,96
V133	CF: Silves	0,00	0,00	3 306 573,10	1E+100	609 665,57	18,44
W133	CF: Tarragona	0,00	0,00	2 219 776,63	1E+100	816 913,71	36,80
X133	CF: Toledo	0,00	0,00	3 717 789,52	1E+100	2 294 185,74	61,71
Y133	CF: Torres Novas	0,00	0,00	2 773 681,85	1E+100	1 406 713,38	50,72
Z133	CF: Torres Vedras	0,01	0,00	2 204 844,78	1 101 607,47	289 347,03	13,12
AA133	CF: Valência	0,00	0,00	3 533 194,66	1E+100	2 045 722,20	57,90
AB133	CF: Vila Franca de Xira	0,00	0,00	2 964 603,84	1E+100	811 145,87	27,36
AC133	CF: Vila Nova de Gaia	0,00	0,00	3 730 763,78	1E+100	2 007 773,46	53,82
AD133	CF: Zamora	0,00	0,00	2 638 580,99	1E+100	843 552,48	31,97

4.2.3 Aplicação dos critérios de decisão na análise da incerteza

Os critérios de decisão analisam as soluções ótimas (decisões) obtidas pelos problemas de PL. Uma vez que os gestores da empresa também referiram a importância de se analisarem outras opções (Vila Franca de Xira, Barreiro, Azambuja e Torres Vedras), também se considerou relevante introduzir as respetivas localizações na análise.

Esta sugestão implica a análise da possibilidade de apenas se utilizar uma única instalação para gerir o serviço, em vez de estarem repartidos por duas ou três instalações, pelo que os 118 concelhos seriam alocados a estas potenciais localizações. A razão para esta proposta centra-se no facto de, neste momento, a empresa ainda se encontrar numa fase de crescimento, que envolve mudanças de sistemas informáticos, desenvolvimentos de novos tipos de serviços de transporte e expansão de alguns serviços atuais para outros países, o que pode não ser um cenário ideal para uma gestão mais complexa de serviços localizados em várias zonas do país. Estas decisões não envolvem a liquidação das bases já existentes.

4.2.3.1 Definição dos cenários

Cada cenário foi aplicado como uma representação dos anos futuros, i.e., as diminuições/aumentos da procura verificadas em 2019/2020 foram consideradas como

diminuições/aumentos para os próximos 5 anos, sensivelmente, por se tratar de uma decisão estratégica. A procura do ano de 2019 foi a base da criação dos cenários, correspondendo também ao cenário 1 que representa um futuro onde a procura se mantém igual a esse ano.

Cada cenário dá origem a um vetor procura (frequência de deslocações em vazio) diferente. Como referido na subsecção 4.2.1.3, a procura pelos produtos transportados influencia diretamente o número de deslocações em vazio realizadas pelas viaturas. Para este serviço, os produtos mais transportados são o vinho e o azeite e o mercado principal em que se insere é Portugal Continental. Foram definidos 5 cenários:

- **Cenário 2 (Crescimento da procura em 2020):** Em 2020 o serviço presenciou um aumento considerável da procura de dois grandes clientes, representado por este cenário. Os gestores de tráfego do Serviço_LAS propuseram a análise das seguintes variações:
 - › No final de 2019 a empresa fechou um contrato com o seu maior cliente que nesse ano foi responsável por quase 40% da quantidade de transportes realizados, adquirindo 100% da distribuição dos seus produtos. Esta aquisição provocou um aumento de 40% dos serviços realizados (procura) a esse cliente;
 - › Em 2020 o Serviço_LAS sofreu um aumento de 30% dos transportes realizados ao seu 6º maior cliente.
- **Cenário 3 (Decréscimo da procura em 2020):** Este cenário também foi sugerido pelos gestores de tráfego do serviço, dado representar um decréscimo na procura que se está a verificar como uma tendência em determinados produtos:
 - › Segundo dados da TPD_TV, o transporte de vinhos nas regiões do Alentejo (Beja e Évora) e Torres Vedras tem vindo a decrescer. A empresa verificou decréscimos de quase 30% para a primeira região e de 20% na segunda.
- **Cenário 4 (Pandemia na TPD_TV):** Este cenário também foi elaborado com base no *feedback* dos gestores de tráfego do serviço e pretende representar o impacto da pandemia, admitindo que as variações sentidas nos primeiros 8 meses do ano são representativas do ano inteiro e posteriores. O facto de apenas se ter utilizado 8 meses, e não 12, justifica-se por ainda se estar a viver uma situação de pandemia e, por ser um acontecimento atípico, torna-se difícil de prever os meses e anos futuros. Segundo dados da empresa, verificaram-se as seguintes variações:
 - › No transporte de vinhos nas zonas do Alentejo, Torres Vedras, Bombarral, Cadaval e Vila Real, a empresa está a sofrer uma diminuição de 50%;
 - › Seguindo a ordem definida pela Análise ABC (secção 4.2.1.1), relativamente a clientes de classe A, o serviço verificou uma diminuição de 60% de transportes

realizados ao 4º maior cliente e de 50% ao 11º maior cliente. Na classe B, verificou-se uma redução 10% dos serviços ao 19º cliente, de 40% ao 31º cliente, e de 60% ao 35º cliente. Estes 5 clientes representaram um volume de transportes realizados de aproximadamente 21%, em 2019.

- **Cenário 5 (Otimista):** Os cenários 5 e 6 foram delineados com base na informação recolhida. As alterações foram feitas apenas nos produtos mais transportados pelo serviço (vinho e azeite), devido à complexidade na recolha da informação. Adicionalmente, acrescem-se as variações verificadas pela empresa relativamente ao 1º e 6º maiores clientes, referidas no cenário 2, uma vez que constituem aumentos consideráveis e permanentes para o serviço em questão. Este cenário representa um futuro otimista para a empresa, onde o número de transportes realizados aos seus maiores clientes e aos dois setores com maior peso para o serviço aumentam consideravelmente. Segundo os dados recolhidos, foram consideradas as seguintes variações:
 - › No transporte de vinhos, a Vini Portugal (2020) apresenta um resumo das estatísticas realizadas pelo Instituto da Vinha e do Vinho, que mostram um aumento da produção de vinho de 26% nas regiões centro e norte de Portugal, e uma queda de 8% em Lisboa e na região sul, em 2019;
 - › Relativamente à produção de azeite, o Instituto nacional de estatística (2020) apresenta um aumento de 30% em 2019.
- **Cenário 6 (Pessimista):** Este cenário representa um futuro severamente afetado pela pandemia. Analogamente ao cenário anterior, para além de se considerarem os dados recolhidos por diversas fontes, acrescentaram-se ainda os decréscimos no transporte de vinhos devido à pandemia referidos no cenário 4, mas apenas para os clientes. Quanto ao transporte de vinho em geral, referido no cenário 4, admitiu-se que a redução de 50% ocorreu para todo o país. Adicionalmente, dada a recente aquisição de 100% das operações de distribuição do maior cliente (alteração permanente), também se contabilizou o aumento de 40% dos seus transportes, referido no cenário 3. Segundo os dados recolhidos, foi ainda considerada a seguinte alteração:
 - › No transporte de azeite, um artigo do jornal Agronegócios (2020) afirma que este setor está a sofrer um decréscimo de 15% na produção devido à pandemia.

A Tabela H1, do anexo H, apresenta os valores da procura para cada cenário, juntamente com a respetiva variação final relativamente ao cenário 1 ('Procura mantém-se').

4.2.3.2 Seleção dos critérios de decisão

Como referido na secção 3.1.2, os critérios de decisão aplicados para a análise da incerteza são os critérios *minimax* da oportunidade perdida e Hurwicz. Uma vez que os critérios de decisão mais utilizados para resolver problemas de localização sob incerteza são o *minimax* e o *minimax* da oportunidade perdida e que o segundo é menos conservador, optou-se pela sua aplicação. Adicionalmente, o critério de Hurwicz permite obter um compromisso entre a solução otimista e pessimista que pode ser relevante para o estudo.

4.2.3.3 Aplicação dos critérios de decisão

I. Determinação da matriz de custos das decisões

Primeiramente, determinou-se a matriz do custo total de cada decisão em cada cenário (Tabela 4.14). Para as decisões propostas pela empresa, consideraram-se nulos os custos fixos da Azambuja e Torres Vedras, dado não envolverem a liquidação das bases já existentes, sendo que o custo total corresponde à soma dos custos fixos e variáveis resultantes de se alocarem todos os concelhos às localizações propostas (Vila Franca de Xira, Barreiro, Azambuja e Torres Vedras).

É de notar que o custo total da decisão de afetar todos os concelhos à base de Torres Vedras, no cenário ‘Procura mantém-se’, corresponde ao custo real da empresa associado às deslocações em vazio do serviço, de/para a sede, relativas a clientes regulares, em 2019.

De entre todas estas decisões, as únicas que provêm de problemas com a mesma base de cálculo (Abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’) são as que escolhem alocar:

- 38 concelhos à Azambuja e 80 a Gavião;
- 87 a Gavião e 31 a Torres Vedras.

Analisando o custo total de cada uma destas decisões, em cada cenário, constata-se que a que origina o menor valor nos cinco primeiros cenários é a primeira, ao passo que no último cenário é a segunda. Dada esta variação da solução entre cenários, observa-se que é possível aplicar os critérios de decisão para se determinar a que melhor se ajusta às incertezas.

Adicionalmente, as localizações sugeridas pelos gestores da empresa (Vila Franca de Xira, Barreiro, Azambuja e Torres Vedras) também possuem a mesma base de cálculo, embora seja necessário considerar, em separado, as análises com e sem as deslocações dos motoristas. No entanto, pela matriz verifica-se que, de entre estas quatro decisões:

- **Sem introduzir os custos de deslocação dos motoristas:** A solução que origina o menor custo total em qualquer cenário é a Azambuja;
- **Introduzindo os custos de deslocação dos motoristas:** A decisão com menor custo total é sempre Torres Vedras.

Tabela 4.14 - Matriz dos custos totais das decisões (Serviço_LAS)

Modo de escolha das decisões	Decisões		Custo total em cada cenário (€)					
	Localizações ótimas	Número de concelhos alocados/localização	Cenário 'Procura mantém-se'	Cenário 'Crescimento da procura em 2020'	Cenário 'Decréscimo da procura em 2020'	Cenário 'Pandemia na TPD_TV'	Cenário 'Otimista'	Cenário 'Pessimista'
Problema de PL Base	Azambuja	96	175 968,09	189 614,74	172 747,31	160 085,63	199 874,43	139 440,55
	Torres Vedras	22						
Problema de PL Abordagem 'Introdução do custo das deslocações dos motoristas'	Azambuja	4	352 078,21	366 744,77	346 777,21	334 482,07	377 825,25	312 423,24
	Torres Vedras	114						
Problema de PL Abordagem 'Liquidação de todas as instalações atuais	Alpiarça	118	1 400 309,98	1 416 668,24	1 393 439,87	1 382 168,73	1 426 928,47	1 353 510,79
Problema de PL Abordagem 'Junção das abordagens 1 e 2'	Alpiarça	118	1 805 268,22	1 821 626,48	1 798 398,11	1 787 126,97	1 831 886,71	1 759 430,51
Problema de PL Abordagem 'Forçar o problema a abrir mais uma instalação'	Azambuja	26						
	Gavião	79	1 292 503,37	1 304 680,20	1 289 872,07	1 278 211,49	1 313 831,01	1 260 629,58
	Torres Vedras	13						
Problema de PL Abordagem 'Liquidação de uma instalação atual'	Azambuja	38	1 312 799,41	1 325 113,80	1 307 139,02	1 296 983,16	1 334 737,97	1 271 772,55
	Gavião	80						
	Torres Vedras	31	1 306 745,58	1 321 094,08	1 304 050,94	1 291 232,07	1 331 024,60	1 272 602,62
Proposta da empresa (a)	Vila Franca de Xira	118	3 157 457,01	3 170 693,03	3 152 055,35	3 140 521,64	3 181 915,78	3 112 286,21
Proposta da empresa (a)	Barreiro	118	2 609 073,99	2 622 699,23	2 602 951,69	2 590 835,78	2 637 302,70	2 551 346,83
Proposta da empresa (a)	Azambuja	118	197 609,84	211 665,06	191 359,98	180 169,25	222 408,02	151 774,29
Proposta da empresa (a)	Torres Vedras	118	202 320,94	218 712,68	198 692,27	184 437,80	230 545,95	161 314,60
Proposta da empresa (b)	Vila Franca de Xira	118	3 431 491,89	3 444 727,91	3 426 090,23	3 414 556,52	3 455 950,66	3 386 321,09
Proposta da empresa (b)	Barreiro	118	2 980 051,11	2 993 676,35	2 973 928,81	2 961 812,90	3 008 279,82	2 922 323,95
Proposta da empresa (b)	Azambuja	118	520 248,32	534 303,54	513 998,46	502 807,73	545 046,50	474 412,77
Proposta da empresa (b)	Torres Vedras	118	358 630,78	375 022,52	353 329,78	340 747,64	386 855,79	317 624,44

(a) Sem custos de deslocação dos motoristas

(b) Com custos de deslocação dos motoristas

O facto de as decisões referentes às propostas da empresa não variarem com os cenários, deve-se à elevada sensibilidade do UFLP a custos fixos muito superiores aos variáveis, tal como se verificou pela AS. Assim, apenas são aplicados os critérios de decisão para as soluções resultantes da abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’.

II. Aplicação do critério *minimax* da oportunidade perdida na abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’

Tal como explicado na subsecção 3.1.2.1, após a determinação da matriz de custos, calcularam-se os arrependimentos de cada decisão (Tabela 4.15). De seguida, determinam-se os respetivos valores relativos e o arrependimento relativo máximo para cada decisão (Tabela 4.16). A opção que melhor se ajusta às incertezas corresponde ao mínimo dos valores máximos.

Tabela 4.15 - Matriz de arrependimentos (Serviço_LAS)

Decisões (a)	Arrependimentos em cada cenário (b)					
	Procura mantém-se	Crescimento da procura em 2020	Decréscimo da procura em 2020	Pandemia TPD_TV	Otimista	Pessimista
Azambuja: 38 Gavião: 80	6 053,83	4 019,72	3 088,08	5 751,09	3 713,37	0,00
Gavião: 87 Torres Vedras:31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	830,06

(a) Localização ótima e respetivo número de concelhos alocados

(b) €

Tabela 4.16 - Critério *minimax* da oportunidade perdida (Serviço_LAS)

Decisões (a)	Arrependimento relativo em cada cenário						Arrependimento máximo	Critério <i>minimax</i> da oportunidade e perdida	Decisão
	Procura mantém-se	Crescimento da procura em 2020	Decréscimo da procura em 2020	Pandemia TPD_TV	Otimista	Pessimista			
Azambuja: 38 Gavião: 80	4,63E-03	3,04E-03	2,37E-03	4,45E-03	2,79E-03	0,00	4,63E-03	6,53E-04	Gavião: 87
Gavião: 87 Torres Vedras:31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,53E-04	6,53E-04		Torres Vedras:31

(a) Localização ótima e respetivo número de concelhos alocados

Após a análise verificou-se que, caso a empresa pretenda liquidar uma das suas bases atuais, a solução que melhor se ajusta aos cenários, minimizando os custos, é liquidar a base da Azambuja e adquirir uma nova instalação no Gavião (com 87 concelhos alocados), gerindo-a em conjunto com a de Torres Vedras (com 31 concelhos alocados). A afetação dos concelhos às localizações ótimas encontra-se na Tabela G5, em anexo.

III. Aplicação do critério de Hurwicz na abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’

Inicialmente, atribuiu-se o valor de 0,7 ao coeficiente α , para considerar uma perspetiva mais otimista. Tal como referido na subsecção 3.1.2.2, para cada decisão, determinaram-se os custos mínimos e máximos, multiplicou-se α pelo primeiro e $1-\alpha$ pelo segundo, e calculou-se H, sendo que o seu valor mínimo corresponde à solução que melhor se ajusta às incertezas (Tabela 4.17).

Tabela 4.17 - Critério de Hurwicz (Serviço_LAS)

Decisões (a)	Custo da decisão (€)		Percentual do custo total		H (€)	H mínimo (€)	Decisão
	Máximo	Mínimo	Otimista	Pessimista			
Azambuja: 38 Gavião: 80	1 334 737,97	1 271 772,55	400 421,39	890 240,79	1 290 662,18	1 290 129,21	Gavião: 87
Gavião: 87 Torres Vedras:31	1 331 024,60	1 272 602,62	399 307,38	890 821,83	1 290 129,21		Torres Vedras:31

(a) Localização ótima e respetivo número de concelhos alocados

(b) €

Após a análise, verificou-se que a melhor decisão seria afetar 87 concelhos a Gavião e 31 a Torres Vedras. No entanto, ao se analisar a sensibilidade do coeficiente α , observou-se que a sua variação influencia a decisão a tomar (Figura 4.2):

- **Para valores de α inferiores a 0,82 (exclusive):** A melhor decisão (reta azul clara) consiste em alocar 87 concelhos a Gavião e 31 a Torres Vedras (afetação dos concelhos no anexo G, Tabela G5);
- **Para valores de α superiores a 0,82:** A melhor decisão (reta azul escura) consiste em afetar 38 concelhos à Azambuja e 80 a Gavião (afetação dos concelhos na Tabela G4 do mesmo anexo).

A análise deste critério indica que, na perspetiva de um decisor mais otimista, no sentido em que dá mais importância a custos de deslocações em vazio mais reduzidos, a decisão que melhor se ajusta às incertezas na procura é a de afetar 38 concelhos à Azambuja e 80 a Gavião. Contudo, um decisor que conceda maior importância a custos mais elevados pode optar pela primeira decisão que, por sua vez, vai ao encontro da solução obtida pelo critério *minimax* da oportunidade perdida. Os cálculos efetuados na AS encontram-se no anexo I, Tabela I1.

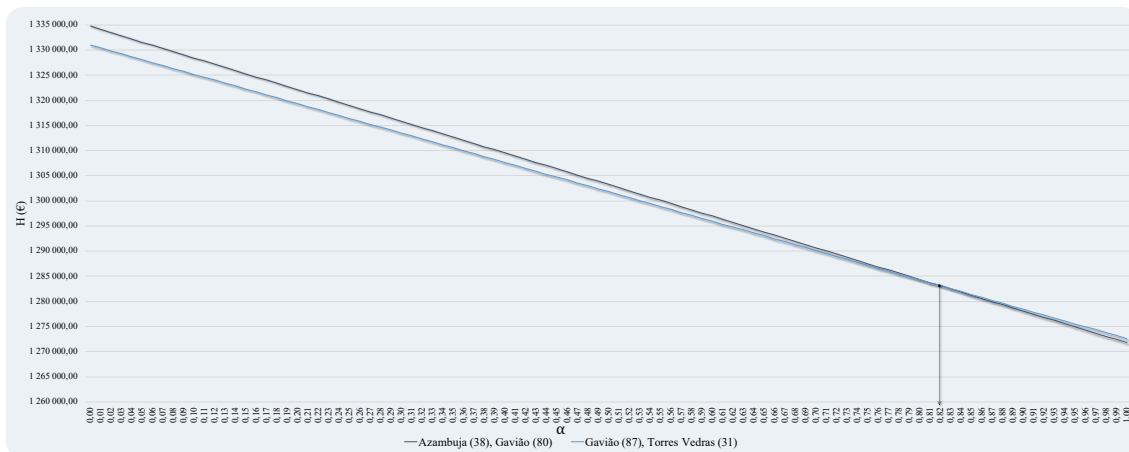


Figura 4.2 - Análise de sensibilidade sobre o coeficiente α (Serviço_LAS)

4.2.4 Comparação dos resultados obtidos pelos problemas de programação linear e análise da incerteza

4.2.4.1 Problemas de programação linear

Serviço_LAS

Comparando as soluções ótimas obtidas através dos problemas de PL, foi possível constatar que relativamente a:

- **Decisão que minimiza os custos:** O problema base devolve a solução com custo total mais reduzido, seguido da abordagem onde se introduzem os custos de deslocação dos motoristas. Isto deve-se ao facto de serem os únicos problemas onde as localizações ótimas correspondem somente às bases já existentes (custo fixo nulo), pelo que o custo total corresponde apenas à soma dos custos variáveis, que são muito inferiores aos fixos;
- **Afetação dos concelhos da decisão que minimiza os custos:** Relativamente ao problema base, a instalação da Azambuja alberga as viaturas responsáveis pela maioria dos transportes (96 concelhos em 118), dado não contabilizar os custos de deslocação dos motoristas. Contudo, introduzindo-os, Torres Vedras passa a albergar maior parte das viaturas (transportam a 114 dos 118 concelhos), pois grande parte dos motoristas residem perto, ou dentro, deste concelho;
- **Decisão que aumenta os custos:** Os custos totais mais elevados estão associados à liquidação de uma ou de todas as bases atuais da empresa;

- **Problema de programação linear:** Mostra-se sensível a custos fixos muito superiores aos variáveis, fazendo com que a decisão seja mais influenciada pelos custos de compra de terrenos industriais do que os de deslocações em vazio, tal como verificado pela AS.

Serviço_FI

As conclusões retiradas da comparação das soluções ótimas, obtidas através dos problemas de PL, são bastante semelhantes às referidas para o serviço anterior. Destaca-se apenas o facto de, comparando o problema base com a primeira abordagem, ao se introduzirem os custos de deslocação dos motoristas, Matosinhos deixa de ser considerada uma localização ótima, devido aos elevados custos de deslocação que provoca.

4.2.4.2 Análise da incerteza

Após o estudo de cada serviço, foi possível recolher diversas informações sobre as decisões a tomar. Para esta análise comparativa, a “situação em 2019” refere-se ao facto de a empresa gerir o serviço através de uma única base (Torres Vedras) nesse mesmo ano.

Serviço_LAS

Comparando os resultados, verificou-se que as decisões que originam um menor custo total, para qualquer cenário são:

- **Sem contabilizar os custos de deslocação dos motoristas:** Alocar 96 concelhos à instalação na Azambuja e 22 a Torres Vedras (problema de PL base). O custo total desta solução varia entre 139 440,55 € e 199 874,43 €, de acordo com o cenário, o que, face à situação em 2019, traduz uma redução do custo total entre 8,13 e 11,15%, aproximadamente;
- **Contabilizando os custos de deslocação dos motoristas:** Afetar 4 concelhos à Azambuja e 114 a Torres Vedras (abordagem ‘Introdução dos custos de deslocação dos motoristas’). O custo total varia entre 312 423,24 € e 377 825,25 €, de acordo com o cenário. Face à situação em 2019, estes valores representa uma redução do custo total entre 1,64 e 2,33%, aproximadamente.

Contudo, na prática, pela legislação é sempre necessário pagar os custos de deslocação dos motoristas, pelo que a solução obtida pelo problema de PL base (que não contabiliza estes custos) só pode ser usada como uma referência.

Tal como para o problema de PL, a afetação dos concelhos varia entre as duas soluções, pois a maioria dos motoristas habita mais perto de Torres Vedras. Por este motivo, ao se contabilizarem as suas deslocações até às instalações, Torres Vedras passa a gerir grande parte dos concelhos, de modo a que não haja tantos motoristas a deslocar-se para a Azambuja. Regra geral, as empresas são capazes de reduzir os custos associados aos motoristas aplicando alguma estratégia específica às suas características (alugando autocarros para transportar os motoristas, por exemplo), pelo que, se assim acontecer, a base na Azambuja seria capaz de gerir mais concelhos do que os definidos pela abordagem ‘Introdução dos custos de deslocação dos motoristas’.

Caso a empresa pretenda gerir o serviço a partir de uma instalação, a Azambuja pode ser a melhor localização se se reduzirem os custos de deslocação dos motoristas. Dependendo do cenário, a percentagem mínima de redução necessária, para que compense gerir o serviço através da Azambuja em vez de Torres Vedras, varia entre 40,89 e 49,36%, aproximadamente.

Se a empresa optar por outras decisões, as variações dos custos totais são as seguintes:

- **Liquidar todas as instalações atuais, substituindo-as por uma nova:** A decisão de afetar todos os concelhos a Alpiarça provoca um aumento do custo total superior a 518,93 %, face a 2019;
- **Liquidando uma das suas instalações atuais, substituindo-a por outra:**
 - › Na perspetiva de um decisor que concede maior importância a custos de deslocação mais reduzidos, a melhor solução é afetar 38 concelhos à instalação na Azambuja e 80 a Gavião, liquidando a instalação atual em Torres Vedras. Face à situação em 2019, o custo total aumenta em mais de 477,34 %;
 - › Numa perspetiva contrária, para ambos os critérios de decisão, a solução consiste em alocar 80 concelhos a Gavião e 31 a Torres Vedras, provocando um aumento do custo total superior a 478,95 %, face a 2019;
- **Adquirindo apenas mais uma instalação para expansão (abordagem ‘Forçar o problema a abrir mais uma instalação’):** A decisão de alocar 76 concelhos a Gavião, 26 a Azambuja e 13 a Torres Vedras provoca um aumento do custo total superior a 469,88 % face a 2019.

De entre todos os problemas, verifica-se que aqueles cujo objetivo consiste na liquidação de alguma base são os que originam custos mais elevados, pelo que, de momento, não se aconselha esta decisão. As bases da Azambuja e Torres Vedras são as que provocam menores custos, para qualquer cenário, porque possuem custo fixo nulo.

Serviço_FI

Para o Serviço_FI, verificou-se que as decisões que originam um menor custo total, para qualquer cenário são:

- **Sem contabilizar os custos de deslocação dos motoristas:** Alocar 33 concelhos à instalação na Azambuja, 14 a Matosinhos e 14 a Torres Vedras (problema de PL base). O custo total desta solução varia entre 67 588,65 € e 92 614,65 €, de acordo com o cenário, o que, face a 2019, traduz uma redução do custo total entre 32,95 e 37,74 %, sensivelmente;
- **Contabilizando os custos de deslocação dos motoristas:** Afetar 3 concelhos à Azambuja e 58 a Torres Vedras. O custo total varia entre 441 707,85 € e 470 309,34 €, de acordo com o cenário. Face à situação em 2019, estes valores representam uma redução do custo total entre 3,60 e 5,14 %, aproximadamente.

Analogamente ao serviço anterior, a afetação dos concelhos alterou quando se consideraram os custos de deslocação dos motoristas, sendo que se aplica o mesmo raciocínio para este serviço. Do mesmo modo, a opção de não se contabilizarem os custos de deslocação dos motoristas serve apenas de referência.

Caso a empresa pretenda gerir o Serviço_FI apenas através de uma instalação, a Azambuja também pode ser a melhor localização, mas apenas se se reduzirem os custos de deslocação dos motoristas. Dependendo do cenário, a percentagem mínima de redução, para que compense gerir o serviço através da Azambuja em vez de Torres Vedras, varia entre 5,70 e 8,12%, aproximadamente, face à situação de 2019. Se a empresa preferir outras soluções, as variações dos custos totais são as seguintes:

- **Liquidando todas as instalações atuais, substituindo-as por uma nova:** A decisão de alocar todos os concelhos a Tomar origina um aumento do custo total superior a 1 135,84 %, face à situação de 2019;
- **Liquidando uma das suas bases atuais, substituindo-a por outra:** A solução de afetar 25 concelhos à instalação na Azambuja, 24 a Tomar e 12 a Torres Vedras, liquidando a base atual em Matosinhos, aumenta o custo total em mais de 1 061,26 %, face a 2019;
- **Adquirindo apenas mais uma instalação para expansão (abordagem ‘Forçar o problema a abrir mais uma instalação’):** A decisão de alocar 25 concelhos a Azambuja, 13 a Tomar, 11 a Matosinhos e 12 a Torres Vedras provoca um aumento do custo total superior a 1 056,29 % face a 2019.

De destacar que os custos totais mais elevados continuam a estar associados à liquidação das bases atuais da empresa, pelo que pode não ser a melhor decisão neste momento. Adicionalmente, embora o problema base considere como localizações ótimas a Azambuja, Torres Vedras e Matosinhos, a solução da primeira abordagem exclui esta última, devido aos elevados custos de deslocação dos motoristas que provoca. O facto de Matosinhos ter sido considerado como solução ótima em alguns problemas, só aconteceu devido aos elevados custos de viagens em vazio feitos para, ou desde, a região norte de Portugal. Contudo, segundo os gestores da empresa, idealmente isto não deveria acontecer, pelo que este resultado pode dever-se a:

- **Má gestão do serviço:** Neste momento, a gestão é feita apenas através de um *software* tipo GPS e do *Google Maps*, o que pode provocar erros e viagens desnecessárias;
- **Erro humano na recolha dos dados:** Por ter sido feita por um indivíduo externo à empresa, podem ter sido contabilizados transportes que não deveriam fazer parte do estudo, embora o processo tenha sido auxiliado pelos gestores da TPD_TV. Assim, posteriormente será considerado que a melhor solução, com ou sem custos de deslocação dos motoristas, consiste apenas nas localizações de Azambuja e Torres Vedras.

Serviços LAS e FI

Verifica-se assim que, para ambos os serviços, numa ótica de redução de custos, a Azambuja e Torres Vedras são as melhores localizações para as instalações. É relevante referir ainda que, para ambos os serviços, os cenários (alterações na procura que, consequentemente, também alteram os custos variáveis), acabam por não afetar muito a decisão, uma vez que esta permanece igual em todos os cenários, com exceção da abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’ aplicada ao Serviço_LAS. Esta limitação é uma consequência da elevada sensibilidade do UFLP a custos fixos muito superiores aos variáveis, que dificulta a visualização do problema por parte de um decisor que pretenda focar a sua análise nos custos derivados das deslocações, e não nos custos de compra dos terrenos. Em contrapartida, para o presente estudo de caso, esta situação permitiu verificar que os custos de deslocação em vazio não são elevados o suficiente para que seja necessário comprar um novo terreno, pois as bases atuais são suficientes para reduzir os custos.

4.2.5 Feedback apresentado pela empresa

Após a análise anterior, apresentaram-se os resultados aos gestores da empresa. Relativamente ao Serviço_LAS, era expectável que, para além de Torres Vedras, a Azambuja fosse considerada uma boa solução, dada a zona de atuação do serviço. Quanto ao Serviço_FI, os gestores tinham mais dificuldade em perceber que locais seriam os melhores, devido à área coberta por este tipo

de transporte, pelo que o estudo desenvolvido permitiu determinar as melhores localizações para a/as instalações destinadas ao estacionamento das viaturas deste serviço. Contudo, o facto de, em algumas soluções, Matosinhos ter sido considerado como uma boa opção, expôs um potencial problema no Serviço_FI que será analisado com mais detalhe pelos gestores desse serviço.

4.3 SÍNTESE

O problema de localização simples foi facilmente adaptável ao problema real e permitiu avaliar vários custos relevantes para a empresa. Após a análise verificou-se que, para ambos os serviços, as localizações que originam menores custos são a Azambuja e Torres Vedras, pois os custos variáveis não são elevados o suficiente para compensar a compra um novo terreno. Quanto à afetação dos concelhos às localizações, se a empresa optar por gerir ambas as instalações, a afetação altera-se bastante face à situação atual, pois Torres Vedras já não iria albergar tantas viaturas. Contudo, se apenas optar por alterar a gestão total dos serviços para a Azambuja, em vez de Torres Vedras, esta passaria a albergar todas as viaturas dos serviços.

Se a TPD_TV optar por gerir as duas instalações em conjunto, o custo total médio por cenário, sem contabilizar as deslocações dos motoristas, é de 172 955 € para o Serviço_LAS e de 74 643 € para o Serviço_FI, aproximadamente. Contabilizando estas deslocações, o custo total médio é de 348 388 € para o Serviço_LAS e de 449 766 € para o Serviço_FI, sensivelmente. No entanto, se, para ambos os serviços, a empresa pretender gerir apenas uma base, pode ser preferível optar por localizá-la na Azambuja, mas apenas se conseguir reduzir os custos de deslocação dos motoristas o suficiente para que o custo total da decisão seja inferior à de escolher Torres Vedras.

5 CONCLUSÕES FINAIS E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

O problema de investigação compreendeu a seleção da localização de instalações, destinadas ao estacionamento de viaturas de transporte de mercadorias alimentares. Para esse efeito, foi empregue um conjunto de problemas e critérios que permitiu avaliar diversas componentes relevantes, como custos, afetação de concelhos às localizações, distâncias, número de instalações a abrir, número e local de residência dos motoristas, entre outros. Este capítulo apresenta as conclusões do estudo, bem como as limitações encontradas e eventuais trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÕES FINAIS

Terminado o estudo, verifica-se que os objetivos definidos foram cumpridos.

I. Revisão de literatura

Um dos primeiros problemas de localização a serem desenvolvidos, e que consequentemente abriu portas ao desenvolvimento de outros mais complexos, foi o problema de localização simples (UFLP). O seu principal objetivo é determinar um conjunto de localizações a abrir, minimizando o custo total (Laporte et al., 2015). Embora certos autores considerem o UFLP como uma das versões mais simples de problemas de localização de instalações, no âmbito da otimização computacional é considerado um problema NP-difícil (computacionalmente exigente), sendo muitas vezes impossível determinar uma solução durante um tempo computacional viável (Armas et al., 2017; Snyder, 2006). Para responder a este problema foram desenvolvidos diversos métodos matemáticos que permitem obter soluções em intervalos de tempo mais curtos. Cheung & Williamson (2017) e Beltran-Royo et al. (2012) apresentaram algoritmos para resolver o UFLP, ao passo que Michel & Van Hentenryck (2004) e Yigit et al. (2006) desenvolveram heurísticas e simulações para versões de maior dimensão e mais complexas do UFLP.

Na análise da incerteza em problemas de localização, distinguem-se problemas estocásticos e sob incerteza, sendo que o último, embora computacionalmente mais moroso, é menos complexo por não carecer de definir as distribuições de probabilidade para a representação das variáveis aleatórias. Dentro dos problemas de localização sob incerteza, autores como Snyder & Daskin (2006) desenvolveram problemas mais complexos para a sua análise. Outros aplicaram critérios de decisão, como foi o caso de Mohammadi et al. (2016) e Lau et al. (2010) que utilizaram o critério *minimax* de oportunidade perdida e o critério de Hurwicz, respetivamente. A vantagem

destes problemas reside no facto de serem relativamente fáceis de aplicar, sendo que o primeiro faz uma análise equilibrada entre cenários e o segundo admite um equilíbrio entre as perspetivas otimista e pessimista. Contudo, o critério *minimax* de oportunidade perdida é mais conservador, ao passo que o critério de Hurwicz falha ao considerar apenas retornos/custos extremos.

Regra geral, atualmente, as contribuições do estudo da localização concentram-se na aplicação/desenvolvimento de problemas adaptados do UFLP, visto ser um problema mais abrangente. Adicionalmente, o problema torna-se relativamente complexo à medida que a quantidade de dados aumenta, principalmente na análise da incerteza, embora isso seja comum a vários problemas de localização de instalações de grande dimensão. Por fim, e tal como se verificou no presente estudo de caso, o problema de programação linear é muito sensível a custos fixos superiores aos variáveis, influenciando mais a solução ótima e dificultando a análise.

II. Metodologia proposta

O objetivo principal da dissertação é propor uma metodologia capaz de determinar a melhor localização para o estacionamento de viaturas de transporte de mercadorias alimentares, através da análise das deslocações em vazio e da incerteza na decisão, com vista à minimização dos custos. Considerou-se também relevante introduzir a análise dos custos de deslocação dos motoristas e o *feedback* apresentado pelo decisor.

Para satisfazer estes objetivos, propôs-se um problema de programação linear, baseado no UFLP, que permitiu analisar os custos de compra de terrenos industriais e os custos associados às deslocações em vazio realizadas pelas viaturas, de modo a determinar a solução ótima que os minimizasse. O problema foi complementado com a aplicação de critérios de decisão na análise da incerteza, com o intuito de se escolher a solução que melhor se ajusta às flutuações da procura.

A maior distinção do problema de PL desenvolvido, face à literatura existente, centra-se na alteração da formulação clássica do UFLP para incluir os custos de deslocação dos motoristas às instalações. Esta modificação constituiu a introdução de duas variáveis v_i (custos variáveis anuais de deslocação de um motorista a cada potencial localização) e a (número total de motoristas) e de uma parcela na função objetivo para o cálculo dos custos médios anuais de deslocação de cada motorista a cada localização ótima. A relevância desta modificação tem por base a obrigação de a entidade patronal pagar as deslocações dos motoristas às instalações, o que constitui uma despesa para e pode influenciar a decisão de escolha de uma localização. Dada a especificidade desta modificação, não se encontrou, na literatura, outros problemas de localização de instalações que introduzissem a análise dos custos de deslocação dos motoristas às instalações. Assim, o problema de PL desenvolvido é aplicável a outros problemas com características semelhantes.

III. Aplicação da metodologia e resultados obtidos

A metodologia proposta foi aplicada com sucesso, tendo sido possível adaptar o problema às características do objeto do estudo, nomeadamente na alteração do vetor J, da procura e da introdução dos custos de deslocação dos motoristas às instalações.

Na análise das soluções ótimas obtidas pelos problemas de PL, concluiu-se que a que minimiza os custos para o Serviço_LAS consiste em alocar 96 concelhos à base na Azambuja e 22 a Torres Vedras, com um custo total que varia entre 139 441 € e 199 874 €, dependendo do cenário. Para o Serviço_FI, consiste em afetar 33 concelhos à Azambuja, 14 a Matosinhos e 14 a Torres Vedras, com um custo total que varia entre 67 589 € e 92 615 €, dependendo do cenário. A afetação dos concelhos encontra-se nos anexos H (Tabela H1) e J (Tabela J12), respetivamente.

Relativamente à análise da incerteza, para além de se considerarem as soluções ótimas obtidas pelos problemas de PL, também se introduziram outras decisões sugeridas pela empresa. Após a determinação do custo total de cada decisão, seguiu-se a aplicação dos critérios de decisão para determinar a que melhor se ajusta às incertezas na procura. Para esta análise, foi preciso verificar quais as decisões que poderiam ser comparadas entre si, sendo que teriam de possuir a mesma base de cálculo e que a solução que minimiza os custos teria de variar ao longo dos cenários. Assim, constatou-se que apenas as soluções obtidas pela abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’ para o Serviço_LAS poderiam ser comparadas. Para o Serviço_FI, embora as soluções obtidas por esta abordagem tivessem a mesma base de cálculo, verificou-se que apenas uma delas originava o menor custo total para todos os cenários, não havendo a necessidade de se aplicarem os critérios de decisão. O facto de, para a maioria das situações, a decisão não variar com os cenários, comprova a conclusão retirada da análise de sensibilidade, onde se verificou que o problema de programação linear aplicado é muito sensível a custos fixos bastante superiores aos variáveis. Por esta razão, as flutuações dos custos variáveis não foram suficientes para terem um impacto considerável na decisão.

Na aplicação dos critérios de decisão *minimax* da oportunidade perdida e Hurwicz para a análise das soluções obtidas pela abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’, no Serviço_LAS, verificou-se que, para ambos os critérios, um decisor que concede maior importância aos elevados custos de deslocações em vazio, escolheria a opção de afetar 87 concelhos ao Gavião e 31 a Torres Vedras. Contudo, numa perspetiva contrária, seria preferível alocar 38 concelhos à base na Azambuja e 80 a Gavião. Ambas as decisões provocam um aumento considerável dos custos totais, face a 2019, pelo que, caso o decisor não pretenda liquidar as suas bases atuais, nenhuma delas é recomendável. A análise da incerteza comprovou ainda que o critério *minimax* da

oportunidade perdida continua a ser um critério de decisão conservador (Aissi et al., 2009; Snyder, 2006).

Analisando os custos totais de todas as decisões, constatou-se que, para ambos os serviços, aquelas que consistem em liquidar instalações são as que originam valores mais elevados, pelo que, numa ótica de minimização de custos, não são recomendadas. Caso a empresa pretenda gerir o serviço através de uma única instalação, a Azambuja pode ser a melhor localização, para ambos os serviços, se se reduzirem os custos de deslocação dos motoristas (através do aluguer de um autocarro para transportar todos os motoristas, por exemplo). Dependendo do cenário, a percentagem mínima de redução necessária para estes custos, para que compense gerir o serviço através da Azambuja em vez de Torres Vedras, varia entre 41 e 49% para o Serviço_LAS, e entre 6 e 8% para o Serviço_FI, aproximadamente.

Se a empresa optar pela decisão que minimiza os custos totais, para ambos os serviços, a solução consiste na gestão dos serviços afetos às bases na Azambuja e em Torres Vedras, em simultâneo. A afetação dos concelhos e o custo total variam consoante a capacidade dos gestores de reduzirem os custos de deslocação dos motoristas às instalações, sendo que, se o conseguirem fazer, a base na Azambuja fica responsável por gerir a maior parte das viaturas dos serviços. No entanto, sem considerar a redução destes custos, a melhor opção para o Serviço_LAS será alocar 4 concelhos à instalação na Azambuja e 114 a Torres Vedras, com um custo total que varia entre 312 423 € e 377 825 €, de acordo com o cenário (redução de 2% aproximadamente, face a 2019). Analogamente, para o Serviço_FI, a decisão consiste em afetar 3 concelhos à base na Azambuja e 58 a Torres Vedras, com uma variação do custo total entre 67 589 € e 92 615 €, de acordo com o cenário (diminuição entre 33 e 38 %, face a 2019). A metodologia proposta permitiu responder ao problema apresentado pela Transportes Paulo Duarte Lda.

IV. Alguns desafios na aplicação da metodologia

A aplicação da metodologia envolveu alguns desafios relacionados com a elevada quantidade de dados a tratar, pois foi preciso analisar individualmente todos os transportes realizados pelas viaturas de dois serviços durante um ano, tornando o processo muito moroso. O cálculo das distâncias entre concelhos e a análise de sensibilidade também se tornaram mais complexos e o suplemento *solver* do *Microsoft Excel* não teve capacidade para analisar um número tão elevado de variáveis e restrições.

No estudo de caso do Serviço_FI, o facto de Matosinhos ter surgido como parte da solução ótima, revela que a má gestão das rotas influencia o problema, levando à possível escolha de localizações que, segundo os objetivos da empresa, não são as mais indicadas. O erro humano, derivado do

tratamento da elevada quantidade de dados, também pode influenciar a solução ótima, embora neste estudo esse processo tenha sido auxiliado pelos gestores da empresa que possuem um maior conhecimento sobre os dados, pelo que o erro associado pode não ser considerável.

5.2 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Nos problemas cujas soluções ótimas são compostas por várias localizações, onde cada uma representa uma instalação com 46 000 m² de área, na realidade, não haveria a necessidade de, individualmente, terem uma dimensão tão grande, pois não albergam todas as viaturas. Esta área deveria ser ajustada ao número de viaturas que cada instalação é capaz de alojar, facto que o UFLP não modela e que poderia reduzir os custos fixos. Uma solução poderia ser definir uma capacidade máxima para um conjunto indeterminado de instalações a abrir, de modo a que a capacidade de cada uma não seja excedida, que os custos sejam minimizados e que toda a procura seja satisfeita. Este tipo de problemas, referidos na literatura como problemas de localização de instalações com capacidade, foi recentemente estudado por Avella et al. (2021).

O facto de o objeto de estudo ter sido a Transportes Paulo Duarte Lda. influenciou as conclusões obtidas, pois os tipos de serviço, custos variáveis, quantidade de deslocações em vazio realizadas, motoristas (quantidade e local de residência) e pontos de carga/descarga são caraterísticos da empresa em estudo. Após a aplicação da metodologia proposta, verificou-se que, devido aos custos de deslocações em vazio serem muito reduzidos face aos fixos, o problema tornou-se mais sensível a este último tipo, influenciando mais os resultados e impedindo o foco na minimização das distâncias. Consequentemente, na análise da incerteza, grande parte das decisões comparáveis entre si não variaram com os cenários, impedindo a utilização de critérios de decisão. Isto significa que, embora a metodologia seja aplicável a outras empresas transportadoras de produtos alimentares, o objeto em estudo pode influenciar o comportamento do problema de incerteza.

A aplicação da metodologia pode não ser adequada para qualquer tipo de mercadoria transportada e situações. Por exemplo, a localização de uma instalação destinada a viaturas de transporte de mercadorias perigosas pode ter de considerar restrições mais específicas, seja em questões de segurança ou de localização. No caso da localização de um supermercado pode ser preciso introduzir outros custos ou restrições, como considerar apenas a localização em zonas urbanizadas e não industriais. Outro exemplo consiste na localização de uma fábrica automóvel, onde também poderá ser necessário fazer algumas alterações na metodologia e possivelmente aplicar um problema de decisão multicritério.

5.3 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Na análise do problema sob incerteza, apenas se estudou a possibilidade de os custos variáveis aumentarem/diminuírem, de acordo com os cenários. Contudo, o setor imobiliário também está sujeito a flutuações na procura, pelo que, na realidade, os custos fixos, derivados dos preços de compra de terrenos industriais, também sofrem alterações ao longo dos anos. Estas flutuações podem influenciar a solução, dada a elevada importância dos custos fixos no problema, sendo, por isso, relevante realizar este estudo. Para tal, podem definir-se cenários adicionais que representem as variações desses preços, embora seja uma tarefa complexa.

Ainda na análise dos custos fixos, dado o seu elevado peso na solução, pode ser relevante analisar a possibilidade de redução do seu valor através de pagamentos por prestações. Deste modo, os custos seriam repartidos ao longo do tempo, ao invés de serem pagos na totalidade inicialmente. Não obstante, esta alternativa torna a análise mais complexa, pois o pagamento dos custos fixos em prestações constitui uma modificação específica em problemas de localização de instalações e que, por isso, não se encontrou referida na literatura.

Tendo em mente a diminuição dos custos de deslocação em vazio das viaturas, os gestores da empresa devem focar-se tanto na redefinição do seu estacionamento como na melhoria da gestão das rotas, pois são dois aspetos que provocam custos sem valor acrescentado. Assim, juntamente com este estudo de caso, deveria ser desenvolvida uma análise complementar destinada à melhoria da gestão das rotas das viaturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abensur, E. O., Paes, A. da S., Yamada, E. R. K., Ruggieri, V., & Aquino, W. A. de. (2020). Stochastic facility location problem in a competitive situation: A game theory model for emergency financial services. *Cogent Engineering*, 7(1), 1-18. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1837411>
- Adeleke, O. J., & Ali, M. M. (2020). An efficient model for locating solid waste collection sites in urban residential areas. *International Journal of Production Research*, 58(23), 1-15. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1709670>
- Agronegócios. (2020). *Apesar dos desafios decorrentes da pandemia, o setor agroalimentar europeu mostra resiliência*. Acedido a 16 de Setembro de 2020 de <http://www.agronegocios.eu/noticias/apesar-dos-desafios-decorrentes-da-pandemia-o-setor-agroalimentar-europeu-mostra-resiliencia/>
- Agrotec. (2020). *Atual direção da Portugal Fresh renova mandato para o triénio 2020/2022*. Acedido a 25 de Agosto de 2020 de <http://www.agrotec.pt/noticias/atual-direcao-da-portugal-fresh-renova-mandato-para-o-trienio-2020-2022/>
- Ahmadi-Javid, A., Seyedi, P., & Syam, S. S. (2017). A survey of healthcare facility location. *Computers & Operations Research*, 79(3), 223-263. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.05.018>
- Aissi, H., Bazgan, C., & Vanderpooten, D. (2009). Min-max and min-max regret versions of combinatorial optimization problems: A survey. *European Journal of Operational Research*, 197(2), 427-438. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.09.012>
- Armas, J., Juan, A. A., Marquès, J. M., & Pedroso, J. P. (2017). Solving the deterministic and stochastic uncapacitated facility location problem: From a heuristic to a simheuristic. *Journal of the Operational Research Society*, 68(10), 1161-1176. <https://doi.org/10.1057/s41274-016-0155-6>
- Avella, P., Boccia, M., Mattia, S., & Rossi, F. (2021). Weak flow cover inequalities for the capacitated facility location problem. *European Journal of Operational Research*, 289(2), 485-494. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.07.033>
- Averbakh, I. (2000). Minmax regret solutions for minimax optimization problems with uncertainty. *Operations Research Letters*, 27(2), 57-65. [https://doi.org/10.1016/S0167-6377\(00\)00025-0](https://doi.org/10.1016/S0167-6377(00)00025-0)
- Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 11(2), 101-121. <https://doi.org/10.1080/13675560701561789>
- Ballou, R. H. (2007). The evolution and future of logistics and supply chain management. *European Business Review*, 19(4), 332-348. <https://doi.org/10.1108/09555340710760152>
- BBC News. (2020). Covid-19 pandemic: Tracking the global coronavirus outbreak, 25 Nov 2020. *BBC News*. Acedido a 25 de Novembro de 2020 de <https://www.bbc.com/news/world-51235105>
- Bélanger, V., Ruiz, A., & Soriano, P. (2019). Recent optimization models and trends in location, relocation, and dispatching of emergency medical vehicles. *European Journal of Operational Research*, 272(1), 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.02.055>

- Beltran-Royo, C., Vial, J.-P., & Alonso-Ayuso, A. (2012). Semi-Lagrangian relaxation applied to the uncapacitated facility location problem. *Computational Optimization and Applications*, 51(1), 387–409. <https://doi.org/10.1007/s10589-010-9338-2>
- Beneventti G., D., Bronfman, A., Paredes-Belmar, G., & Marianov, V. (2019). A multi-product maximin hazmat routing-location problem with multiple origin-destination pairs. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118193. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118193>
- Bertalero, G., Rosa, A., & Chiara, B. D. (2020). Analysis of outsourcing conditions for freight transport and logistics among manufacturing companies: Insights from a review of data and a field investigation. *Transportation Research Procedia*, 45(2), 459–466. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.039>
- Birge, J. R., & Louveaux, F. (2011). *Introduction to Stochastic Programming* (2^a ed.). Nova York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0237-4>
- Boonmee, C., Arimura, M., & Asada, T. (2017). Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24(4), 485–498. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.01.017>
- Borgonovo, E., & Peccati, L. (2008). *Sensitivity Analysis in Decision Making: A Consistent Approach* (1^a ed., Vol. 42). Hoboken: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68437-4_5
- Boujelben, M. K., & Boulaksil, Y. (2018). Modeling international facility location under uncertainty: A review, analysis, and insights. *IIE Transactions*, 50(6), 535–551. <https://doi.org/10.1080/24725854.2017.1408165>
- Brahimi, N., & Khan, S. A. (2014). Warehouse location with production, inventory, and distribution decisions: A case study in the lube oil industry. *4OR*, 12(2), 175–197.
- Byrka, J. (2007). An Optimal Bifactor Approximation Algorithm for the Metric Uncapacitated Facility Location Problem. *2007 International Workshop on Approximation Algorithms for Combinatorial Optimization*, 29–43, Berlim, Heidelberg, Alemanha. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74208-1_3
- Caçador, S. C., Godinho, P. M. C., & Dias, J. M. P. C. M. (2020). A minimax regret portfolio model based on the investor's utility loss. *Operational Research*, 20(1). <https://doi.org/10.1007/s12351-020-00550-0>
- Camisón-Haba, S., & Clemente-Almendros, J. A. (2020). A global model for the estimation of transport costs. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 33(1), 2075–2100. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2019.1584044>
- Candemir, Y., & Çelebi, D. (2017). An inquiry into the analysis of the Transport & Logistics Sectors' Role in Economic Development. *Transportation Research Procedia*, 25(6), 4692–4707. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.317>
- Carvalho, J. C. de, Dias, E. B., Martins, A., Menezes, J., Ramos, T., Guedes, A. P., Arantes, A. J., Póvoa, A. P., Luís, C., Dias, E., Dias, J. C., Menezes, J. C., Ferreira, L. M., Carvalho, M., Oliveira, R., & Azevedo, S. (2012). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento* (1^a ed.). Lisboa: Edições Sílabo.
- Chao, I.-M. (2002). A tabu search method for the truck and trailer routing problem. *Computers & Operations Research*, 29(1), 33–51. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(00\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(00)00056-3)
- Chen, B., Wang, J., Wang, L., He, Y., & Wang, Z. (2014). Robust Optimization for Transmission Expansion Planning: Minimax Cost vs. Minimax Regret. *IEEE Transactions on Power Systems*, 29(6), 3069–3077. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2014.2313841>

- Cheung, S.-S., & Williamson, D. P. (2017). Greedy algorithms for the single-demand facility location problem. *Operations Research Letters*, 45(5), 452–455. <https://doi.org/10.1016/j.orl.2017.07.002>
- Costa, J. P., Dias, J. M., & Godinho, P. (2010). *Logística* (1^a ed.). Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- CSCMP. (2013). *Supply Chain Management Definitions and Glossary of Terms*. Acedido a 12 de Junho de 2020 de https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx
- Curvelo, P. (2020). *Transporte rodoviário de mercadorias em Portugal faturou 2.900 milhões*. Acedido a 6 de Setembro de 2020 de <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/transportes/detalhe/transporte-rodoviario-de-mercadorias-em-portugal-faturou-2900-milhoes>
- DG MOVE. (2019). *Transport in the European Union | Current Trends and Issues*. Acedido a 1 de Julho de 2020 de https://ec.europa.eu/search/?queryText=Transport+in+the+European+Union+Current+Trends+and+Issues+2019&query_source=europa_default&filterSource=europa_default&swlang=en&more_options_language=en&more_options_f_formats=&more_options_date=
- Diba, S., & Xie, N. (2019). Sustainable supplier selection for Satrec Vitalait Milk Company in Senegal using the novel grey relational analysis method. *Grey Systems: Theory and Application*, 9(3), 262–294. <https://doi.org/10.1108/GS-01-2019-0003>
- Douissa, M. R., & Jabeur, K. (2016). A New Model for Multi-criteria ABC Inventory Classification: PROAFTN Method. *Procedia Computer Science*, 96(19), 550–559. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.233>
- Du, P., Li, Y. P., & Huang, G. H. (2012). Agricultural water management under uncertainty using minimax relative regret analysis method. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 138(12), 1033–1045.
- Dupont, L. (2008). Branch and bound algorithm for a facility location problem with concave site dependent costs. *International Journal of Production Economics*, 112(1), 245–254. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.04.001>
- Engström, R. (2016). The Roads' Role in the Freight Transport System. *Transportation Research Procedia*, 14(3), 1443–1452. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.217>
- European Commission. (2019). *Transport sector economic analysis | EU Science Hub*. Acedido a 1 de Julho de 2020 de <https://ec.europa.eu/jrc/en/research-topic/transport-sector-economic-analysis>
- Farahani, R. Z., SteadieSeifi, M., & Asgari, N. (2010). Multiple criteria facility location problems: A survey. *Applied Mathematical Modelling*, 34(7), 1689–1709. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2009.10.005>
- Fazayeli, S., Eydi, A., & Kamalabadi, I. N. (2018). A model for distribution centers location-routing problem on a multimodal transportation network with a meta-heuristic solving approach. *Journal of Industrial Engineering International*, 14(2), 327–342. <https://doi.org/10.1007/s40092-017-0218-6>
- Frank, C., & Römer, K. (2007). Distributed Facility Location Algorithms for Flexible Configuration of Wireless Sensor Networks. *2007 International Conference on Distributed*

- Computing in Sensor Systems*, 124–141, Berlim, Heidelberg, Alemanha. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73090-3_9
- Ghosh, D. (2003). Neighborhood search heuristics for the uncapacitated facility location problem. *European Journal of Operational Research*, 150(1), 150–162. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00504-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00504-0)
- Gollowitzer, S., & Ljubić, I. (2011). MIP models for connected facility location: A theoretical and computational study. *Computers & Operations Research*, 38(2), 435–449. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2010.07.002>
- Gundlach, G. T., Bolumole, Y. A., Eltantawy, R. A., & Frankel, R. (2006). The changing landscape of supply chain management, marketing channels of distribution, logistics and purchasing. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 21(7), 428–438. <https://doi.org/10.1108/08858620610708911>
- Harrison, A., & Hoek, R. I. van. (2008). *Logistics management and strategy: Competing through the supply chain* (3^a ed.). Harlow, Nova York: Prentice Hall Financial Times.
- Homaei, S., & Hamdy, M. (2020). A robustness-based decision-making approach for multi-target high performance buildings under uncertain scenarios. *Applied Energy*, 267(11), 114868. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114868>
- Informa D&B. (2020). *COVID-19 – Impacto na economia portuguesa*. Dun & Brandstreet. Acedido a 6 de Setembro de 2020 de <https://biblioteca.informadb.pt/read/document.aspx?id=2624>
- Instituto nacional de estatística. (2020). *Produção de azeitona para azeite com máximo histórico ultrapassa as 940 mil toneladas*. Acedido a 25 de Agosto de https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_bo ui=399589801&DESTAQUESmodo=2
- Izadi, A., Nabipour, M., & Titidezh, O. (2020). Cost Models and Cost Factors of Road Freight Transportation: A Literature Review and Model Structure. *Fuzzy Information and Engineering*, 10(3). <https://doi.org/10.1080/16168658.2019.1706960>
- Kasilingam, R. G. (1998). Facilities planning. Em R. G. Kasilingam, *Logistics and Transportation* (1^a ed., Vol. 1, pp. 99–134). Boston: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5277-2_6
- Kazemzadeh, N., Ryan, S. M., & Hamzei, M. (2019). Robust optimization vs. Stochastic programming incorporating risk measures for unit commitment with uncertain variable renewable generation. *Energy Systems*, 10(3), 517–541. <https://doi.org/10.1007/s12667-017-0265-5>
- Keddell, D. E. (2017). Comparing Risk-Averse and Risk-Friendly Practitioners in Child Welfare Decision-Making: A Mixed Methods Study. *Journal of Social Work Practice*, 31(4), 411–429. <https://doi.org/10.1080/02650533.2017.1394822>
- Klose, A., & Drexl, A. (2005). Facility location models for distribution system design. *European Journal of Operational Research*, 162(1), 4–29. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.10.031>
- Kouvelis, P., & Yu, G. (1997). *Robust Discrete Optimization and Its Applications* (1^a ed., Vol. 14). Boston: Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2620-6>
- Krarup, J., & Pruzan, P. M. (1983). The simple plant location problem: Survey and synthesis. *European Journal of Operational Research*, 12(1), 36–81. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(83\)90181-9](https://doi.org/10.1016/0377-2217(83)90181-9)

- Kwon, Y. S., Lee, B. K., & Sohn, S. Y. (2020). Optimal location-allocation model for the installation of rooftop sports facilities in metropolitan areas. *European Sport Management Quarterly*, 20(2), 189–204. <https://doi.org/10.1080/16184742.2019.1598454>
- Laporte, G., Nickel, S., & Saldanha da Gama, F. (2015). *Location Science* (1^a ed., Vol. 1). Heidelberg, Dordrecht, Nova York, London: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-13111-5>
- Lau, H. C. W., Jiang, Z.-Z., Ip, W. H., & Wang, D. (2010). A credibility-based fuzzy location model with Hurwicz criteria for the design of distribution systems in B2C e-commerce. *Computers & Industrial Engineering*, 59(4), 873–886. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2010.08.018>
- Lazic, N., Givoni, I., Frey, B., & Aarabi, P. (2009). FLoSS: Facility location for subspace segmentation. *2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision*, 825–832. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2009.5459302>
- Le, Q. T., & Pishva, D. (2015). Application of Web Scraping and Google API service to optimize convenience stores' distribution. *2015 17th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, 478–482, Quioto, Japão. <https://doi.org/10.1109/ICACT.2015.7224841>
- Liu, X., & Kwon, C. (2020). Exact robust solutions for the combined facility location and network design problem in hazardous materials transportation. *IIE Transactions*, 52(10), 1156–1172. <https://doi.org/10.1080/24725854.2019.1697017>
- Marić, M., Stanimirović, Z., & Božović, S. (2015). Hybrid metaheuristic method for determining locations for long-term health care facilities. *Annals of Operations Research*, 227(1), 3–23. <https://doi.org/10.1007/s10479-013-1313-8>
- Marín, A., Martínez-Merino, L. I., Rodríguez-Chía, A. M., & Saldanha-da-Gama, F. (2018). Multi-period stochastic covering location problems: Modeling framework and solution approach. *European Journal of Operational Research*, 268(2), 432–449. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.01.040>
- Mavromatidis, G., Orehounig, K., & Carmeliet, J. (2018). Comparison of alternative decision-making criteria in a two-stage stochastic program for the design of distributed energy systems under uncertainty. *Energy*, 156(15), 709–724. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.081>
- Meissner, P. (2013). The benefits of scenario-based planning. Em *Scenario-based Strategic Planning: Developing Strategies in an Uncertain World* (1^a ed., pp. 175–195). Wiesbaden : Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-02875-6_6
- Melo, M. T., Nickel, S., & Saldanha da Gama, F. (2006). Dynamic multi-commodity capacitated facility location: A mathematical modeling framework for strategic supply chain planning. *Computers & Operations Research*, 33(1), 181–208. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2004.07.005>
- Michel, L., & Van Hentenryck, P. (2004). A simple tabu search for warehouse location. *European Journal of Operational Research*, 157(3), 576–591. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00247-9](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00247-9)
- Mohammadi, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Siadat, A., & Dantan, J.-Y. (2016). Design of a reliable logistics network with hub disruption under uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, 40(9), 5621–5642. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2016.01.011>

- Monahan, G. E. (2000). *Management Decision Making: Spreadsheet Modeling, Analysis, and Application* (1^a ed.). Illinois: Cambridge University Press.
- Nickel, S., Schöbel, A., & Sonneborn, T. (2001). Hub Location Problems in Urban Traffic Networks. Em *Mathematical Methods on Optimization in Transportation Systems* (1^a ed., Vol. 48, pp. 95–107). Boston: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3357-0_6
- Nikoofal, M. E., & Sadjadi, S. J. (2010). A robust optimization model for p-median problem with uncertain edge lengths. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50(1), 391–397. <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2503-z>
- Nilsson, F. R. (2019). A complexity perspective on logistics management: Rethinking assumptions for the sustainability era. *The International Journal of Logistics Management*, 30(3), 681–698. <https://doi.org/10.1108/IJLM-06-2019-0168>
- Agroportal. (2020). *Exportações agroalimentares subiram mais de 5% por ano na última década*. Acedido a 25 de Agosto de 2020 de <https://www.agroportal.pt/exportacoes-agroalimentares-subiram-mais-de-5-por-ano-na-ultima-decada/>
- Park, D., & Um, M.-J. (2018). Robust Decision-Making Technique for Strategic Environment Assessment with Deficient Information. *Water Resources Management*, 32(15), 4953–4970. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2066-6>
- Pažek, K., & Rozman, Č. (2009). Decision making under conditions of uncertainty in agriculture: A case study of oil crops. *Poljoprivreda*, 15(1), 45–50.
- Pereira, D. F., Oliveira, J. F., & Carravilla, M. A. (2020). Tactical sales and operations planning: A holistic framework and a literature review of decision-making models. *International Journal of Production Economics*, 228(10), 107695. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107695>
- Pereira, S. (2020). *Transportadoras de mercadorias a cair 70% avançam com 'lay-off'—DN*. Acedido a 17 de Agosto de 2020 de <https://www.dn.pt/dinheiro/transportadoras-de-mercadorias-a-cair-70-avancam-com-lay-off-12062046.html>
- Portal do estado do ambiente. (2019). *Transporte de mercadorias | Relatório do Estado do Ambiente*. Acedido a 25 de Agosto de 2020 de <https://rea.apambiente.pt/content/transporte-de-mercadorias>
- Portal República Portuguesa. (2020). *Exportações do setor agroalimentar dão sinais de retoma*. Acedido a 25 de Agosto de 2020 de <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc22/comunicacao/comunicado?i=exportacoes-do-setor-agroalimentar-dao-sinais-de-retoma>
- Prajapati, H., Kant, R., & Shankar, R. (2019). Bequeath life to death: State-of-art review on reverse logistics. *Journal of Cleaner Production*, 211(6), 503–520. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.187>
- PricewaterhouseCoopers. (2020). *Guia fiscal 2020 | IRS*. PwC. Acedido a 10 de Setembro de 2020 de <https://www.pwc.pt/pt/pwcinformisco/guia-fiscal/2020/irs.html>
- Rahmani, A. (2019). The multiple trip vehicle routing problem with backhauls in random fuzzy environment: Using (α, β) -cost minimization model under the Hurwicz criterion. *International Journal of Computer Mathematics*, 96(12), 2548–2566. <https://doi.org/10.1080/00207160.2019.1579314>
- Rajeev, A., Pati, R. K., Padhi, S. S., & Govindan, K. (2017). Evolution of sustainability in supply chain management: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 162(30), 299–314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.026>

- Rodrigue, J.-P., Comtois, C., & Slack, B. (2013). *The Geography of Transport Systems* (3^a ed., Vol.60). Nova York: Routledge. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00330120802115474>
- Rosenhead, J., Elton, M., & Gupta, S. K. (1972). Robustness and Optimality as Criteria for Strategic Decisions. *Journal of the Operational Research Society*, 23(4), 413–431. <https://doi.org/10.1057/jors.1972.72>
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2014). *The handbook of logistics & distribution management* (5^a ed.). Londres, Filadélfia: Kogan Page.
- Sahinidis, N. V. (2004). Optimization under uncertainty: State-of-the-art and opportunities. *Computers & Chemical Engineering*, 28(6), 971–983. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2003.09.017>
- Sen, S., & Higle, J. L. (1999). An introductory tutorial on stochastic linear programming models. *Interfaces*, 29(2), 33–61.
- Shankar, L., Basavarajappa, S., & Kadadevaramath, R. (2012). Bi-objective optimization of distribution scheduling using MOPSO optimizer. *Journal of Modelling in Management*, 7(3), 304–327. <https://doi.org/10.1108/17465661211283296>
- Sivanandham, S., & Gajanand, M. S. (2020). Platooning for sustainable freight transportation: An adoptable practice in the near future? *Transport Reviews*, 20(5), 1–26. <https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1747568>
- Snyder, L. V. (2006). Facility location under uncertainty: A review. *IIE Transactions*, 38(7), 547–564. <https://doi.org/10.1080/07408170500216480>
- Snyder, L. V., & Daskin, M. S. (2006). Stochastic p-robust location problems. *IIE Transactions*, 38(11), 971–985. <https://doi.org/10.1080/07408170500469113>
- Stępień, M., Łęgowik-Świącik, S., Skibińska, W., & Turek, I. (2016). Identification and Measurement of Logistics Cost Parameters in the Company. *Transportation Research Procedia*, 16(5), 490–497. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.046>
- Szuster, M. (2010). Outsourcing of Transport Service—Perspective Of Manufacturers. *Total Logistic Management*, 1(3), 87–98.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities Planning* (4^a ed.). Hoboken: John Wiley & Sons.
- Verma, A., Verma, R., & Mahanti, N. C. (2010). A new approach to fuzzy uncapacitated facility location problem. *International Journal of Soft Computing*, 5(3), 149–154.
- Verter, V. (2011). Uncapacitated and Capacitated Facility Location Problems. Em *Foundations of Location Analysis* (1^a ed., pp. 25–37). Boston: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7572-0_2
- Vini Portugal. (2020). *ViniPortugal - Estatísticas*. Acedido a 25 de Agosto de 2020 de <https://viniportugal.pt/Estatisticas>
- Vladimirou, H., & Zenios, S. A. (1997). Stochastic Programming and Robust Optimization. Em F. S. Hillier, *Advances in Sensitivity Analysis and Parametric Programming* (1^a ed., Vol. 6, pp. 411–463). Boston: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6103-3_12

- Wagner, M. R., Bhadury, J., & Peng, S. (2009). Risk management in uncapacitated facility location models with random demands. *Computers & Operations Research*, 36(4), 1002–1011. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2007.12.008>
- Wang, B., & He, S. (2009). Robust Optimization Model and Algorithm for Logistics Center Location and Allocation under Uncertain Environment. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 9(2), 69–74. [https://doi.org/10.1016/S1570-6672\(08\)60056-2](https://doi.org/10.1016/S1570-6672(08)60056-2)
- Waters, C. D. J. (2003). *Logistics: An introduction to supply chain management* (1^a ed.). Houndmills, Basingstoke, Hampshire, Nova York: Palgrave Macmillan.
- Wen, M., & Iwamura, K. (2008). Fuzzy facility location-allocation problem under the Hurwicz criterion. *European Journal of Operational Research*, 184(2), 627–635. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.11.029>
- Winkelhaus, S., & Grosse, E. H. (2020). Logistics 4.0: A systematic review towards a new logistics system. *International Journal of Production Research*, 58(1), 18–43. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1612964>
- Xidonas, P., Mavrotas, G., Hassapis, C., & Zopounidis, C. (2017). Robust multiobjective portfolio optimization: A minimax regret approach. *European Journal of Operational Research*, 262(1), 299–305. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.03.041>
- Yigit, V., Aydin, M. E., & Turkbey, O. (2006). Solving large-scale uncapacitated facility location problems with evolutionary simulated annealing. *International Journal of Production Research*, 44(22), 4773–4791. <https://doi.org/10.1080/00207540600621003>
- Zowid, F. M., Babai, M. Z., Douissa, M. R., & Ducq, Y. (2019). Multi-criteria inventory ABC classification using Gaussian Mixture Model. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1925–1930. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.484>

ANEXO A

Este anexo destina-se à apresentação da estruturação da folha de cálculo em *Excel* e definição dos parâmetros do *software solver*.

Problema de PL base

Como referido na revisão de literatura, o UFLP pode ser resolvido através de vários métodos, como heurísticas, algoritmos e computacionais. Neste estudo de caso foi aplicado o *software solver*, mais especificamente o *software* gratuito *OpenSolver 2.9.3_Beta_Advanced*, para resolver o problema de programação linear, utilizando o algoritmo *COIN Branch and Cut (CBC)*.

Antes da aplicação do *software*, foi necessário estruturar o problema no Microsoft Excel, de modo a facilitar a sua visualização e resolução. Devido à elevada quantidade de dados a analisar pelo problema, em cada serviço, optou-se por apenas exemplificar a disposição usual do UFLP em Excel, para facilitar a sua compreensão, tal como apresentado na Figura A1. Utilizaram-se valores de custos meramente aleatórios.

A estrutura da folha de cálculo consiste numa tabela de custos fixos, que possui os custos de instalação para cada potencial localização (vetor I), e uma tabela de custos variáveis, denominada de matriz dos custos anuais de afetação de cada concelho (vetor J) a cada potencial localização (vetor I). Mais abaixo, são delineados um vetor (y_i) e uma matriz (x_{ij}) em branco, que serão preenchidas pelo *solver* na geração de valores binários durante resolução do problema, i.e., estão destinados às variáveis de decisão. Os cálculos auxiliares, mencionados na figura, permitem a definição das restrições definidas na secção 3.1.1:

- A média vertical (em i) dos custos variáveis de cada potencial localização (abaixo da matriz) representa a parcela à esquerda das restrições 3.2;
- A soma horizontal (em j) dos custos variáveis de cada concelho (à direita da matriz) representa o somatório da restrição 3.3;
- O vetor e a matriz em branco são compostos por valores binários, tal como representam as restrições 3.4 e 3.5, respetivamente.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		Localização 1	Localização 2	Localização 3				
3	Custos fixos de instalação das potenciais localizações (€)	100 000,00	175 000,00	137 000,00				
4								
5		Matriz dos custos variáveis de afetação (€/ano)						
6	Concelho 1	5 900,00	12 000,00	46 600,00				
7	Concelho 2	22 000,00	30 500,00	63 000,00				
8	Concelho 3	71 000,00	52 000,00	34 080,00				
9	Concelho 4	10 800,00	27 100,00	72 200,00				
10								
11								
12	Função objetivo (Custo total)	=SOMARPRODUTO(B14:D14;B3:D3)+SOMARPRODUTO(B16:D19;B6:D9)						
13								
14	y_i							
15								
16	x_{ij}							
17								
18								
19								
20		=SOMA(B16:B19)/4	=SOMA(C16:C19)/4	=SOMA(D16:D19)/4				
21								
22								
23								
24								
25								
26								

Figura A 1 - Estrutura da folha de cálculo para o problema de localização simples (problema de PL base)

A Figura A2 apresenta a definição dos parâmetros no *OpenSolver*. Nesta janela, foi necessário definir o modo *minimise* (minimizar) para a função objetivo e o método de resolução *COIN Branch and Cut Solver (CBC)*, apresentado com mais detalhe na Figura A3, que permite resolver o problema aplicando programação linear mista através da linguagem de programação C++. As células apresentadas na Figura E5 correspondem às células da figura acima, sendo que o *objective cell* corresponde à célula da função objetivo (custo total), as *variable cells* correspondem ao vetor e matriz destinados às variáveis de decisão, a primeira e segunda *constraints* correspondem às restrições 3.4 e 3.5, a terceira corresponde à restrição 3.2 e a quarta corresponde à restrição 3.3.

OpenSolver - Model

What is AutoModel? AutoModel

AutoModel is a feature of OpenSolver that tries to automatically determine the problem you are trying to optimise by observing the structure of the spreadsheet. It will turn its best guess into a Solver model, which you can then edit in this window.

Objective Cell: ☐ maximise ☒ minimise ☐ target value:

Variable Cells:

Constraints:

- <Add new constraint>
- \$B\$14:\$D\$14 bin
- \$B\$16:\$D\$19 bin
- \$B\$20:\$D\$20 <= \$B\$14:\$D\$14
- \$E\$16:\$E\$19 = 1

Add constraint Cancel

Delete selected constraint

☒ Make unconstrained variable cells non-negative

☒ Show named ranges in constraint list

Sensitivity Analysis ☐ List sensitivity analysis on the same sheet with top left cell:

☐ Output sensitivity analysis: ☒ updating any previous output sheet ☐ on a new sheet

Solver Engine: Current Solver Engine: CBC Solver Engine...

☒ Show model after saving Clear Model Options... Save Model Cancel

Figura A 2 - Parâmetros do *software* OpenSolver (problema de PL base)

OpenSolver - Choose Solver

Choose a solver from the list below:

The COIN Branch and Cut solver (CBC) is the default solver for OpenSolver and is an open-source mixed-integer program (MIP) solver written in C++. CBC is an active open-source project led by John Forrest at www.coin-or.org.

<http://www.coin-or.org/Cbc/cbcuserguide.html>

OK Cancel

Figura A 3 - Ferramenta *solver* utilizada (para qualquer problema de PL)

Problema de PL da abordagem ‘Introdução dos custos de deslocações dos motoristas’

Para a resolução desta abordagem, foi necessário alterar a estrutura da folha de cálculo, introduzindo-se:

- O número total de concelhos j (m);
- O número total de motoristas do serviço em estudo (a);
- O vetor dos custos anuais de deslocação de um motorista, em €/motorista.ano (v_i);
- Um conjunto de células para o cálculo do número de motoristas necessários para realizar os serviços de transporte a cada potencial localização i ;
- Uma parcela na função objetivo que calcula o produto entre o número de motoristas de cada localização e o custo anual de deslocação de cada motorista, e a posterior soma desses produtos. No fundo, esta parcela contabiliza o custo variável associado à deslocação anual de todos os motoristas a cada localização escolhida.

A Figura A4 representa a nova estrutura da folha de cálculo. Os parâmetros do *solver* permanecem inalterados.

	A	B	C	D	E
1					
2	Número de concelhos	Número de motoristas			
3	4	3			
4					
5					
6		Localização 1	Localização 2	Localização 3	
7	Custos fixos de instalação das potenciais localizações (€)	100 000,00	175 000,00	137 000,00	
8					
9	Custo anual de deslocação por motorista (€/motorista)	10 000,00	12 000,00	11 500,00	
10					
11		Matriz dos custos variáveis de afetação (€/ano)			
12	Concelho 1	5 900,00	12 000,00	46 600,00	
13	Concelho 2	22 000,00	30 500,00	63 000,00	
14	Concelho 3	71 000,00	52 000,00	34 080,00	
15	Concelho 4	10 800,00	27 100,00	72 200,00	
16					
17					
18	Função objetivo (Custo total)	=SOMARPRODUTO(B19:D19;B6:D6)+SOMARPRODUTO(B21:D24;B11:D14)+SOMARPRODUTO(B26:D26;B8:D8)			
19					
20	y_i				
21					
22	x_{ij}				=SOMA(B16:D16)
23					=SOMA(B17:D17)
24					=SOMA(B18:D18)
25					=SOMA(B19:D19)
26		=SOMA(B16:B19)/4	=SOMA(C16:C19)/4	=SOMA(D16:D19)/4	
27		=SOMA(B21:B24)/(\$A\$3/\$B\$3)	=SOMA(C21:C24)/(\$A\$3/\$B\$3)	=SOMA(D21:D24)/(\$A\$3/\$B\$3)	
28					
29					
30					
31					
32					
33					

Cálculo do número de motoristas necessários para realizar os serviços de transporte em cada localização

Figura A 4 - Estrutura da folha de cálculo com a alteração dos custos variáveis

ANEXO B

Aplicando a Análise ABC (Douissa & Jabeur, 2016; Zowid et al., 2019), definiram-se os clientes de classe A e B (regulares) e os de C (ocasionais). A Tabela B1 apresenta a análise para o Serviço_LAS. Os clientes de classe A estão sublinhados a verde claro, sendo que se salienta, a verde escuro, o valor acumulado (percentagem de todos os clientes de classe A) que provoca uma determinada frequência relativa acumulada (percentagem de serviços de transporte realizados a estes clientes). A classe B está definida a cinzento e a branco a classe C.

Tabela B 1 - Análise ABC dos clientes do Serviço_LAS em 2019

Referência atribuída aos clientes servidos em 2019	%	Acumulado (%)	Frequência absoluta (n° de serviços)	Frequência absoluta acumulada (n° de serviços)	Frequência relativa (%)	Frequência relativa acumulada (%)
Clas 101	0,85	0,85	4 919	4 919	39,43	39,43
Clas 64	0,85	1,71	1 850	6 769	14,83	54,26
Clas 100	0,85	2,56	1 200	7 969	9,62	63,87
Clas 76	0,85	3,42	589	8 558	4,72	68,60
Clas 11	0,85	4,27	588	9 146	4,71	73,31
Clas 54	0,85	5,13	540	9 686	4,33	77,64
Clas 17	0,85	5,98	254	9 940	2,04	79,67
Clas 10	0,85	6,84	205	10 145	1,64	81,32
Clas 51	0,85	7,69	173	10 318	1,39	82,70
Clas 95	0,85	8,55	173	10 491	1,39	84,09
Clas 103	0,85	9,40	134	10 625	1,07	85,16
Clas 2	0,85	10,26	112	10 737	0,90	86,06
Clas 24	0,85	11,11	92	10 829	0,74	86,80
Clas 75	0,85	11,97	92	10 921	0,74	87,54
Clas 40	0,85	12,82	86	11 007	0,69	88,23
Clas 98	0,85	13,68	79	11 086	0,63	88,86
Clas 94	0,85	14,53	78	11 164	0,63	89,48
Clas 15	0,85	15,38	77	11 241	0,62	90,10
Clas 58	0,85	16,24	69	11 310	0,55	90,65
Clas 21	0,85	17,09	62	11 372	0,50	91,15
Clas 93	0,85	17,95	60	11 432	0,48	91,63
Clas 35	0,85	18,80	59	11 491	0,47	92,10
Clas 28	0,85	19,66	51	11 542	0,41	92,51
Clas 12	0,85	20,51	50	11 592	0,40	92,91
Clas 60	0,85	21,37	46	11 638	0,37	93,28
Clas 27	0,85	22,22	42	11 680	0,34	93,62
Clas 34	0,85	23,08	40	11 720	0,32	93,94
Clas 91	0,85	23,93	40	11 760	0,32	94,26
Clas 65	0,85	24,79	38	11 798	0,30	94,57
Clas 29	0,85	25,64	37	11 835	0,30	94,86
Clas 63	0,85	26,50	37	11 872	0,30	95,16
Clas 99	0,85	27,35	34	11 906	0,27	95,43
Clas 87	0,85	28,21	33	11 939	0,26	95,70
Clas 16	0,85	29,06	30	11 969	0,24	95,94
Clas 1	0,85	29,91	26	11 995	0,21	96,14
Clas 55	0,85	30,77	25	12 020	0,20	96,34
Clas 84	0,85	31,62	25	12 045	0,20	96,55
Clas 20	0,85	32,48	24	12 069	0,19	96,74
Clas 18	0,85	33,33	23	12 092	0,18	96,92
Clas 112	0,85	34,19	22	12 114	0,18	97,10
Clas 39	0,85	35,04	21	12 135	0,17	97,27
Clas 71	0,85	35,90	21	12 156	0,17	97,44
Clas 85	0,85	36,75	21	12 177	0,17	97,60
Clas 6	0,85	37,61	20	12 197	0,16	97,76
Clas 115	0,85	38,46	18	12 215	0,14	97,91
Clas 70	0,85	39,32	17	12 232	0,14	98,04
Clas 77	0,85	40,17	16	12 248	0,13	98,17
Clas 97	0,85	41,03	13	12 261	0,10	98,28
Clas 31	0,85	41,88	12	12 273	0,10	98,37
Clas 72	0,85	42,74	12	12 285	0,10	98,47
Clas 78	0,85	43,59	10	12 295	0,08	98,55
Clas 80	0,85	44,44	10	12 305	0,08	98,63
Clas 82	0,85	45,30	10	12 315	0,08	98,71
Clas 89	0,85	46,15	10	12 325	0,08	98,79
Clas 68	0,85	47,01	9	12 334	0,07	98,86
Clas 79	0,85	47,86	9	12 343	0,07	98,93
Clas 102	0,85	48,72	8	12 351	0,06	99,00
Clas 3	0,85	49,57	8	12 357	0,05	99,05
Clas 9	0,85	50,43	6	12 363	0,05	99,09
Clas 19	0,85	51,28	6	12 369	0,05	99,14
Clas 67	0,85	52,14	6	12 375	0,05	99,19
Clas 66	0,85	52,99	5	12 380	0,04	99,23
Clas 105	0,85	53,85	5	12 385	0,04	99,27
Clas 5	0,85	54,70	4	12 389	0,03	99,30
Clas 25	0,85	55,56	4	12 393	0,03	99,33
Clas 33	0,85	56,41	4	12 397	0,03	99,37
Clas 36	0,85	57,26	4	12 401	0,03	99,40
Clas 23	0,85	58,12	3	12 404	0,02	99,42
Clas 30	0,85	58,97	3	12 407	0,02	99,45
Clas 56	0,85	59,83	3	12 410	0,02	99,47
Clas 61	0,85	60,68	3	12 413	0,02	99,50
Clas 73	0,85	61,54	3	12 416	0,02	99,52
Clas 81	0,85	62,39	3	12 419	0,02	99,54
Clas 111	0,85	63,25	3	12 422	0,02	99,57
Clas 4	0,85	64,10	2	12 424	0,02	99,58
Clas 7	0,85	64,96	2	12 426	0,02	99,60
Clas 14	0,85	65,81	2	12 428	0,02	99,62
Clas 42	0,85	66,67	2	12 430	0,02	99,63
Clas 50	0,85	67,52	2	12 432	0,02	99,65
Clas 53	0,85	68,38	2	12 434	0,02	99,66
Clas 74	0,85	69,23	2	12 436	0,02	99,68
Clas 88	0,85	70,09	2	12 438	0,02	99,70
Clas 92	0,85	70,94	2	12 440	0,02	99,71
Clas 114	0,85	71,79	2	12 442	0,02	99,73
Clas 116	0,85	72,65	2	12 444	0,02	99,74
Clas 8	0,85	73,50	1	12 445	0,01	99,75
Clas 13	0,85	74,36	1	12 446	0,01	99,76
Clas 22	0,85	75,21	1	12 447	0,01	99,77
Clas 26	0,85	76,07	1	12 448	0,01	99,78
Clas 32	0,85	76,92	1	12 449	0,01	99,78
Clas 37	0,85	77,78	1	12 450	0,01	99,79
Clas 38	0,85	78,63	1	12 451	0,01	99,80
Clas 41	0,85	79,49	1	12 452	0,01	99,81
Clas 43	0,85	80,34	1	12 453	0,01	99,82
Clas 44	0,85	81,20	1	12 454	0,01	99,82
Clas 45	0,85	82,05	1	12 455	0,01	99,83
Clas 46	0,85	82,91	1	12 456	0,01	99,84
Clas 47	0,85	83,76	1	12 457	0,01	99,85
Clas 48	0,85	84,62	1	12 458	0,01	99,86
Clas 49	0,85	85,47	1	12 459	0,01	99,86
Clas 52	0,85	86,32	1	12 460	0,01	99,87
Clas 57	0,85	87,18	1	12 461	0,01	99,88
Clas 59	0,85	88,03	1	12 462	0,01	99,89
Clas 62	0,85	88,89	1	12 463	0,01	99,90
Clas 69	0,85	89,74	1	12 464	0,01	99,90
Clas 83	0,85	90,60	1	12 465	0,01	99,91
Clas 86	0,85	91,45	1	12 466	0,01	99,92
Clas 90	0,85	92,31	1	12 467	0,01	99,93
Clas 96	0,85	93,16	1	12 468	0,01	99,94
Clas 104	0,85	94,02	1	12 469	0,01	99,94
Clas 106	0,85	94,87	1	12 470	0,01	99,95
Clas 107	0,85	95,73	1	12 471	0,01	99,96
Clas 108	0,85	96,58	1	12 472	0,01	99,97
Clas 109	0,85	97,44	1	12 473	0,01	99,98
Clas 110	0,85	98,29	1	12 474	0,01	99,98
Clas 113	0,85	99,15	1	12 475	0,01	99,99
Clas 117	0,85	100,00	1	12 476	0,01	100,00

ANEXO C

Este anexo destina-se à apresentação dos concelhos portugueses (Figura C1) e províncias espanholas (Figura C2) que foram analisados pelo UFLP para o Serviço_LAS, i.e., que constituem os pontos de carga/descarga (vetor J) do problema de localização. Nas figuras, entre parêntesis encontram-se os números de concelhos (ou províncias espanholas), correspondentes a pontos de carga/descarga, em cada distrito (ou comunidade autónoma).

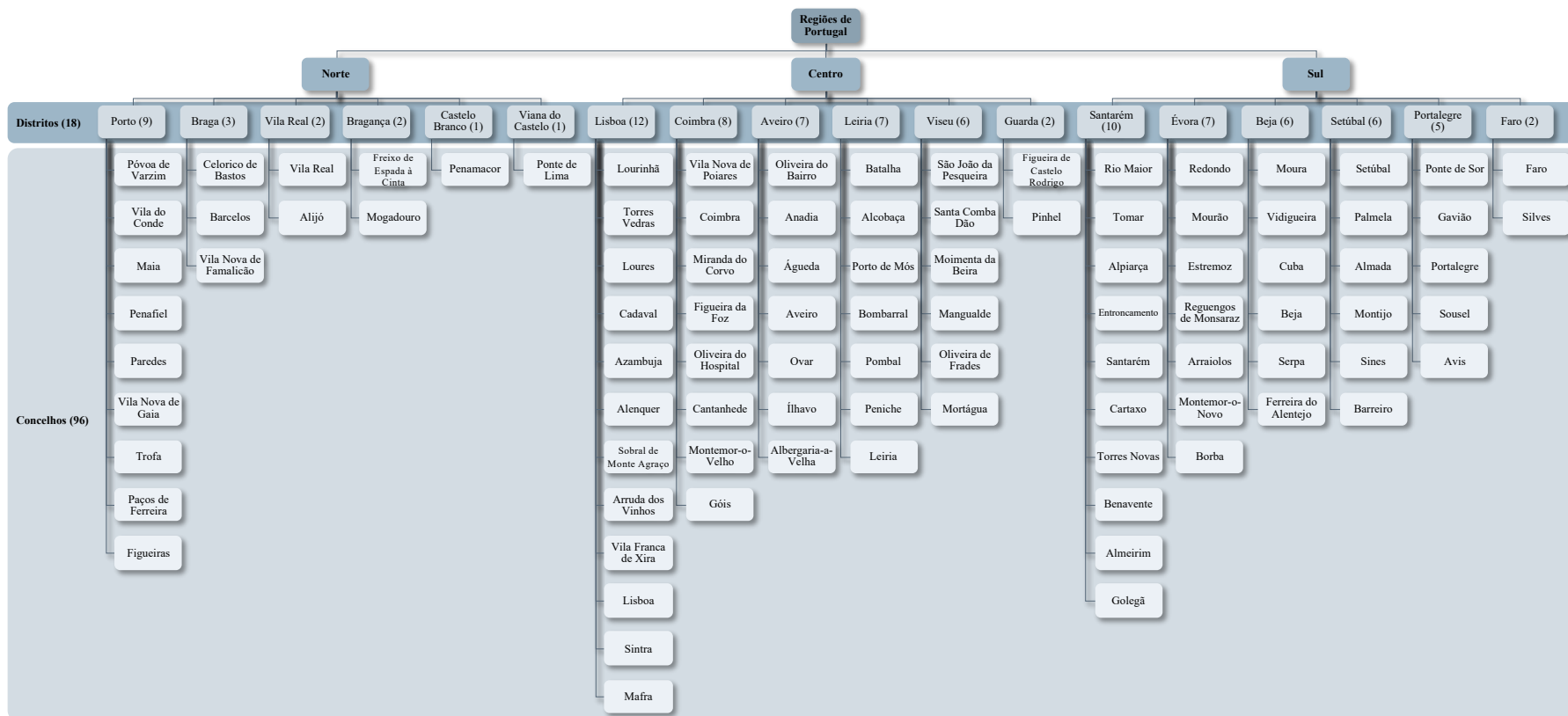


Figura C 1 - Pontos de carga/descarga (concelhos) associados aos transportes realizados pelo Serviço_LAS em 2019

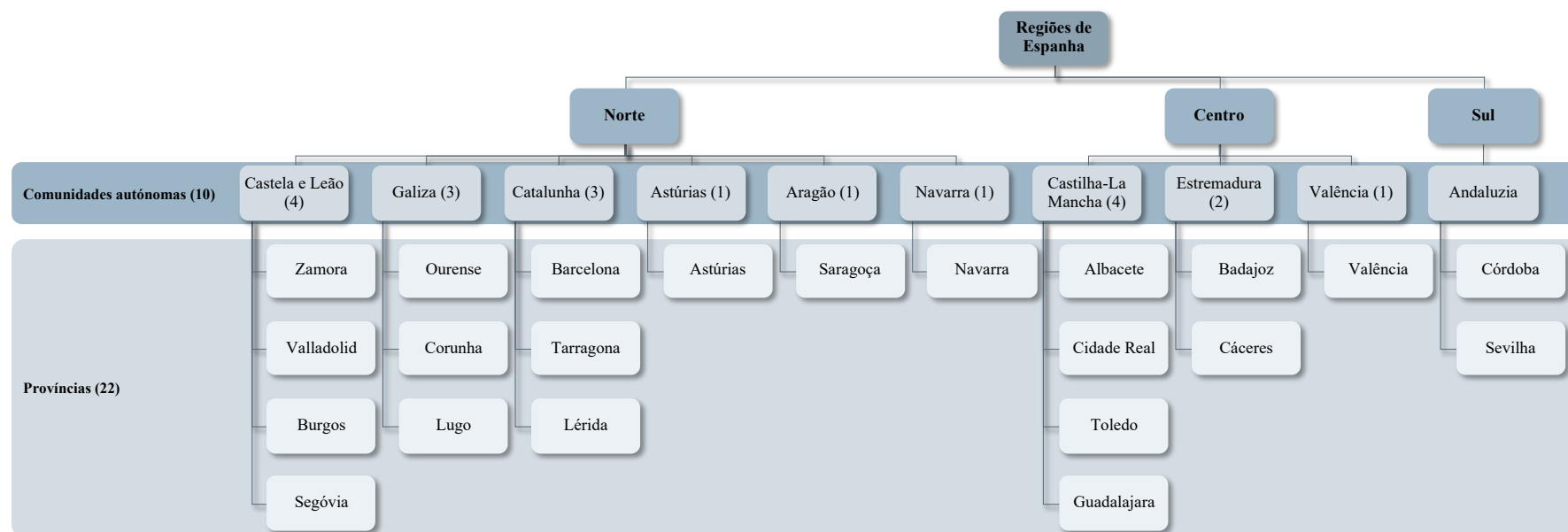


Figura C 2 - Pontos de carga/descarga (províncias espanholas) associados aos transportes realizados pelo Serviço_LAS em 2019

ANEXO D

Aplicando o Princípio de Pareto referido no anexo B, definiram-se os concelhos de classe A, i.e., que provocam mais quilómetros em vazio. Para o Serviço_LAS apresenta-se a Tabela D1 e a Figura D1 correspondentes à Análise ABC. A classe A está representada a verde, sendo que a verde escuro se encontra salientado o valor acumulado (percentagem de todos os concelhos de classe A) que provoca uma determinada frequência relativa acumulada (percentagem de quilómetros em vazio realizados pelos concelhos de classe A). A classe B está salientada a cinzento e a branco a classe C. É importante referir que, enquanto para o Serviço_FI a proporção definida para cada classe é mais ou menos respeitada, tal não acontece para o Serviço_LAS. Em situações reais, nem sempre é possível aplicar adequadamente a definição de cada classe, sendo necessário analisar o problema de acordo com as suas características e tentando sempre respeitar a proporção entre cada classe.

Tabela D 1 - Análise ABC aos concelhos associados ao Serviço_LAS, para 2019

Concelhos	%	Acumulado (%)	Frequência absoluta (km)	Frequência absoluta acumulada (km)	Frequência relativa (%)	Frequência relativa acumulada (%)
Sevilha	0,85	0,85	12 610,00	12 610,00	5,94	5,94
Silves	0,85	1,69	12 180,00	24 790,00	5,74	11,68
Gaviao	0,85	2,54	10 564,00	35 354,00	5,02	16,70
Almada	0,85	3,39	9 282,00	44 736,00	4,37	21,07
Barcelos	0,85	4,24	8 710,00	53 446,00	4,10	25,18
Zamora	0,85	5,08	8 512,00	61 958,00	4,01	29,19
Barreiro	0,85	5,93	7 484,90	69 442,90	3,53	32,71
Anadia	0,85	6,78	6 272,00	75 714,90	2,95	35,67
Azambuja	0,85	7,63	6 024,00	81 738,90	2,84	38,50
Badajoz	0,85	8,47	5 544,00	87 282,90	2,61	41,12
Corunha	0,85	9,32	5 301,00	92 583,90	2,50	43,61
Oliveira de Frades	0,85	10,17	5 080,00	97 663,90	2,39	46,01
Ovar	0,85	11,02	4 800,00	102 463,90	2,26	48,27
Navarra	0,85	11,86	4 600,00	107 063,90	2,17	50,43
Vila Franca de Xira	0,85	12,71	3 788,20	110 852,10	1,78	52,22
Vila Nova de Gaia	0,85	13,56	3 752,00	114 604,10	1,77	53,99
Ilhavo	0,85	14,41	3 060,00	117 664,10	1,44	55,43
Valência	0,85	15,25	2 763,00	120 427,10	1,30	56,73
Setúbal	0,85	16,10	2 734,20	123 161,30	1,29	58,02
Toledo	0,85	16,95	2 504,00	125 665,30	1,18	59,20
Pinhel	0,85	17,80	2 436,00	128 101,30	1,15	60,34
Tarragona	0,85	18,64	2 418,00	130 519,30	1,14	61,48
Alpinarça	0,85	19,49	2 366,40	132 885,70	1,11	62,60
Lugo	0,85	20,34	2 264,00	135 149,70	1,07	63,66
Freixo de Espada à Cinta	0,85	21,19	2 260,00	137 409,70	1,06	64,73
Torres Novas	0,85	22,03	2 242,00	139 651,70	1,06	65,78
Cartaxo	0,85	22,88	2 150,50	141 802,20	1,01	66,80
Burgos	0,85	23,73	2 139,00	143 941,20	1,01	67,81
Ponte de Sor	0,85	24,58	1 991,00	145 932,20	0,94	68,74
Ourense	0,85	25,42	1 908,00	147 840,20	0,90	69,64
Almeirim	0,85	26,27	1 898,10	149 738,30	0,89	70,54
Figueira da Foz	0,85	27,12	1 824,00	151 562,30	0,86	71,40
Mangualde	0,85	27,97	1 806,00	153 368,30	0,85	72,25
Vidigueira	0,85	28,81	1 800,00	155 168,30	0,85	73,09
Entroncamento	0,85	29,66	1 785,00	156 953,30	0,84	73,93
Cáceres	0,85	30,51	1 765,00	158 718,30	0,83	74,77
Valladolid	0,85	31,36	1 764,00	160 482,30	0,83	75,60
Beja	0,85	32,20	1 728,00	162 210,30	0,81	76,41
Asíurias	0,85	33,05	1 550,00	163 760,30	0,73	77,14
Moura	0,85	33,90	1 494,00	165 254,30	0,70	77,85
Liaboa	0,85	34,75	1 488,00	166 742,30	0,70	78,55
Guadalajara	0,85	35,59	1 450,00	168 192,30	0,68	79,23
Avis	0,85	36,44	1 421,00	169 613,30	0,67	79,90
Penamacor	0,85	37,29	1 390,00	171 003,30	0,65	80,55
Santarém	0,85	38,14	1 327,50	172 330,80	0,63	81,18
Águeda	0,85	38,98	1 290,00	173 620,80	0,61	81,79
Segóvia	0,85	39,83	1 280,00	174 900,80	0,60	82,39
Reguengos de Monsaraz	0,85	40,68	1 248,00	176 148,80	0,59	82,98
Paredes	0,85	41,53	1 184,00	177 332,80	0,56	83,53
São João da Pesqueira	0,85	42,37	1 140,00	178 472,80	0,54	84,07
Lerida	0,85	43,22	1 125,00	179 597,80	0,53	84,60
Sintra	0,85	44,07	1 062,00	180 659,80	0,50	85,10
Oliveira do Bairro	0,85	44,92	1 055,00	181 714,80	0,50	85,60
Saragoça	0,85	45,76	978,00	182 692,80	0,46	86,06
Ferreira do Alentejo	0,85	46,61	965,00	183 657,80	0,45	86,51
Golegã	0,85	47,46	924,00	184 581,80	0,44	86,95
Albergaria-a-Velha	0,85	48,31	896,00	185 477,80	0,42	87,37
Peniche	0,85	49,15	856,50	186 334,30	0,40	87,78
Cóimbra	0,85	50,00	850,00	187 184,30	0,40	88,18
Aveiro	0,85	50,85	828,00	188 012,30	0,39	88,57
Albacete	0,85	51,69	788,00	188 800,30	0,37	88,94
Alijó	0,85	52,54	786,00	189 586,30	0,37	89,31
Lourinhã	0,85	53,39	769,60	190 355,90	0,36	89,67
Estremoz	0,85	54,24	754,00	191 109,90	0,36	90,02
Alenquer	0,85	55,08	730,00	191 839,90	0,34	90,37
Serpa	0,85	55,93	720,00	192 559,90	0,34	90,71
Cantanhede	0,85	56,78	708,00	193 267,90	0,33	91,04
Mourão	0,85	57,63	690,00	193 957,90	0,33	91,37
Pombal	0,85	58,47	675,00	194 632,90	0,32	91,68
Moimenta da Beira	0,85	59,32	666,00	195 298,90	0,31	92,00
Cuba	0,85	60,17	645,00	195 943,90	0,30	92,30
Vila Nova de Famalicão	0,85	61,02	620,00	196 563,90	0,29	92,59
Póvoa de Varzim	0,85	61,86	616,00	197 179,90	0,29	92,88
Figueiras	0,85	62,71	610,00	197 789,90	0,29	93,17
Paços de Ferreira	0,85	63,56	604,00	198 393,90	0,28	93,46
Vila do Conde	0,85	64,41	602,00	198 995,90	0,28	93,74
Cadaval	0,85	65,25	594,00	199 589,90	0,28	94,02
Cidade Real	0,85	66,10	569,00	200 158,90	0,27	94,29
Vila Nova de Poiares	0,85	66,95	567,00	200 725,90	0,27	94,55
Porto de Mós	0,85	67,80	564,60	201 290,50	0,27	94,82
Córdoba	0,85	68,64	539,00	201 829,50	0,25	95,07
Oliveira do Hospital	0,85	69,49	488,00	202 317,50	0,23	95,30
Mogadouro	0,85	70,34	470,00	202 787,50	0,22	95,53
Montijo	0,85	71,19	457,10	203 244,60	0,22	95,74
Santa Comba Dão	0,85	72,03	440,00	203 684,60	0,21	95,95
Redondo	0,85	72,88	420,00	204 104,60	0,20	96,15
Sousel	0,85	73,73	412,00	204 516,60	0,19	96,34
Sines	0,85	74,58	396,00	204 912,60	0,19	96,53
Figueira de Castelo Rodrigo	0,85	75,42	379,00	205 291,60	0,18	96,71
Vila Real	0,85	76,27	357,00	205 648,60	0,17	96,87
Ponte de Lima	0,85	77,12	354,00	206 002,60	0,17	97,04
Miranda do Corvo	0,85	77,97	354,00	206 356,60	0,17	97,21
Loures	0,85	78,81	353,00	206 709,60	0,17	97,37
Bombarral	0,85	79,66	345,80	207 055,40	0,16	97,54
Cálorico de Bastos	0,85	80,51	341,00	207 396,40	0,16	97,70
Arraolos	0,85	81,36	322,00	207 718,40	0,15	97,85
Faro	0,85	82,20	316,00	208 034,40	0,15	98,00
Montemor-o-Velho	0,85	83,05	312,00	208 346,40	0,15	98,14
Arruda dos Vinhos	0,85	83,90	309,60	208 656,00	0,15	98,29
Penafiel	0,85	84,75	301,00	208 957,00	0,14	98,43
Trofa	0,85	85,59	301,00	209 258,00	0,14	98,57
Alcobaça	0,85	86,44	299,20	209 557,20	0,14	98,71
Maiã	0,85	87,29	283,00	209 840,20	0,13	98,85
Badajoz	0,85	88,14	276,90	210 117,10	0,13	98,98
Barcelona	0,85	88,98	264,00	210 381,10	0,12	99,10
Palmela	0,85	89,83	253,80	210 634,90	0,12	99,22
Portalegre	0,85	90,68	232,00	210 866,90	0,11	99,33
Borba	0,85	91,53	218,00	211 084,90	0,10	99,43
Moriágua	0,85	92,37	214,00	211 298,90	0,10	99,53
Góis	0,85	93,22	204,00	211 502,90	0,10	99,63
Benavente	0,85	94,07	162,00	211 664,90	0,08	99,71
Tomar	0,85	94,92	142,00	211 806,90	0,07	99,77
Montemor-o-Novo	0,85	95,76	141,00	211 947,90	0,07	99,84
Rio Maior	0,85	96,61	116,40	212 064,30	0,05	99,90
Leiria	0,85	97,46	99,30	212 163,60	0,05	99,94
Sobral de Monte Agraço	0,85	98,31	87,50	212 251,10	0,04	99,98
Mafra	0,85	99,15	35,00	212 286,10	0,02	100,00
Torres Vedras	0,85	100,00	0,00	212 286,10	0,00	100,00

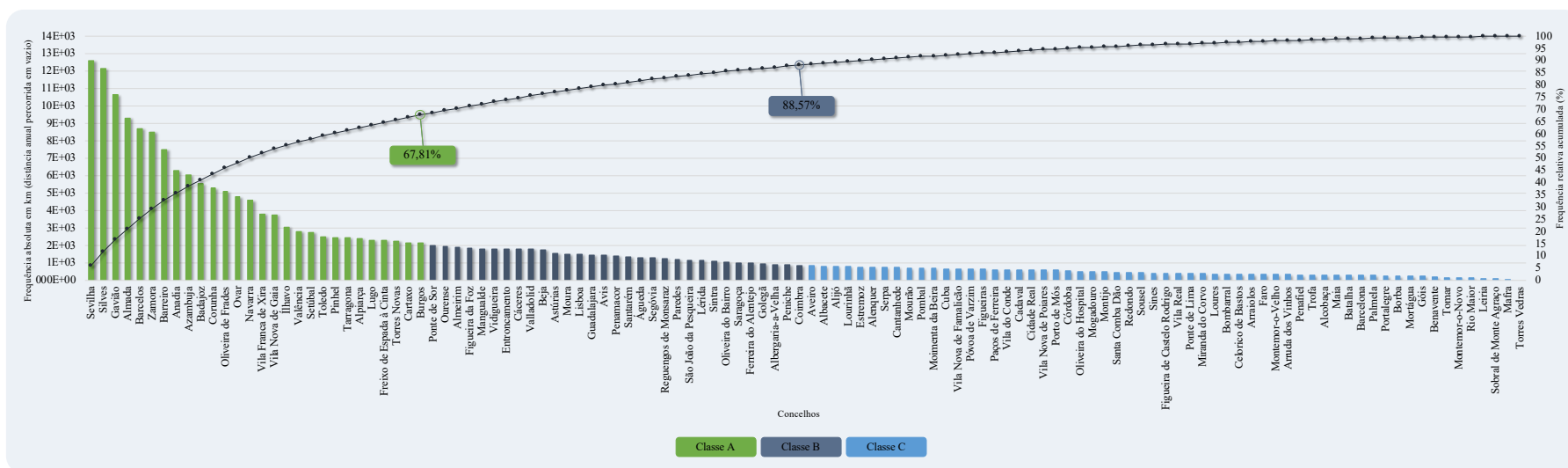


Figura D 1 – Análise ABC dos concelhos associados aos pontos de carga/descarga do Serviço_LAS

ANEXO E

Tabela E 1 - Potenciais localizações (concelhos) a analisar para o Serviço_LAS e o Serviço_FI, e respetivos distritos

Potenciais localizações a analisar para o Serviço_LAS		Potenciais localizações a analisar para o Serviço_FI	
Distrito	Concelho	Distrito	Concelho
Andaluzia	Sevilha	Beja	Odemira
Faro	Silves	Lisboa	Vila Franca de Xira
Portalegre	Gavião	Lisboa	Azambuja
Setúbal	Almada	Leiria	Alcobaça
Braga	Barcelos	Setúbal	Santiago do Cacém
Castela e Leão	Zamora	Aveiro	Estarreja
Setúbal	Barreiro	Andaluzia	Cádiz
Aveiro	Anadia	Lisboa	Cadaval
Lisboa	Azambuja	Faro	Silves
Estremadura	Badajoz	Santarém	Tomar
Galiza	Corunha	Porto	Matosinhos
Viseu	Oliveira de Frades	Setúbal	Palmela
Aveiro	Ovar	Andaluzia	Córdoba
Navarra	Navarra	Leiria	Bombarral
Lisboa	Vila Franca de Xira	Porto	Santo Tirso
Porto	Vila Nova de Gaia	Setúbal	Montijo
Aveiro	Ílhavo	Lisboa	Torres Vedras
Valência	Valência		
Setúbal	Setúbal		
Castilha - La Mancha	Toledo		
Guarda	Pinhel		
Catalunha	Tarragona		
Santarém	Alpiarça		
Galiza	Lugo		
Bragança	Freixo de Espada à Cinta		
Santarém	Torres Novas		
Santarém	Cartaxo		
Castela e Leão	Burgos		
Lisboa	Torres Vedras		
Setúbal	Barreiro		

ANEXO F

Tabela F 1 - Matriz de distâncias para o Serviço_LAS

Pontos de carga/descarga	Novas localizações (km)																													
	Almada	Alpiarça	Anadia	Azambuja	Badajoz	Barcelos	Barreiro	Burgos	Cartaxo	Corunha	Freixo de Espada à Cinta	Gavião	Ilhavo	Lago	Navarra	Oliveira de Frades	Ovar	Pinhel	Setúbal	Sevilha	Silves	Tarragona	Toledo	Torres Novas	Torres Vedras	Valência	Vila Franca de Xira	Vila Nova de Gaia	Zamora	
Águeda	263,00	199,00	19,40	214,00	333,00	136,00	289,00	534,00	196,00	386,00		237,00	202,00	26,20	378,00	746,00	39,90	48,90	157,00	291,00	552,00	467,00	1 012,00	513,00	165,00	215,00	864,00	225,00	74,60	355,00
Albacete	853,00	706,00	782,00	811,00	537,00	849,00	846,00	489,00	780,00	850,00		592,00	679,00	777,00	760,00	604,00	727,00	787,00	620,00	829,00	501,00	820,00	420,00	246,00	748,00	856,00	188,00	822,00	809,00	513,00
Albergaria-a-Velha	276,00	208,00	32,30	223,00	343,00	125,00	298,00	574,00	205,00	374,00		234,00	211,00	27,90	366,00	743,00	36,40	37,40	153,00	300,00	561,00	476,00	1 008,00	509,00	174,00	223,00	860,00	234,00	63,10	352,00
Alcobaça	129,00	74,00	134,00	63,70	304,00	271,00	156,00	687,00	64,10	520,00		364,00	144,00	142,00	512,00	899,00	193,00	179,00	310,00	157,00	473,00	324,00	1 133,00	583,00	89,50	75,00	951,00	78,70	214,00	508,00
Alenquer	57,50	59,90	198,00	17,70	297,00	339,00	80,20	678,00	34,90	589,00		386,00	137,00	222,00	581,00	891,00	263,00	251,00	313,00	82,10	410,00	262,00	1 126,00	575,00	82,20	29,80	944,00	16,00	278,00	499,00
Aljô	442,00	352,00	212,00	390,00	453,00	158,00	465,00	428,00	348,00	355,00		127,00	328,00	197,00	293,00	669,00	150,00	162,00	144,00	467,00	632,00	643,00	907,00	537,00	318,00	393,00	827,00	378,00	134,00	215,00
Almada	0,00	103,00	241,00	61,00	218,00	385,00	33,00	722,00	77,50	638,00		456,00	179,00	259,00	616,00	929,00	307,00	295,00	356,00	40,80	440,00	245,00	1 163,00	581,00	124,00	60,00	875,00	46,10	317,00	572,00
Almeirim	104,00	7,60	144,00	39,30	213,00	289,00	101,00	632,00	21,10	542,00		368,00	92,60	200,00	559,00	868,00	240,00	229,00	291,00	109,00	457,00	272,00	1 081,00	521,00	59,80	99,10	921,00	62,40	255,00	477,00
Alpiarça	103,00	0,00	174,00	39,10	181,00	318,00	109,00	625,00	31,80	571,00		360,00	83,40	198,00	554,00	837,00	239,00	228,00	260,00	117,00	429,00	280,00	1 126,00	522,00	34,80	97,90	890,00	61,20	241,00	446,00
Anadia	241,00	174,00	0,00	188,00	281,00	155,00	263,00	558,00	170,00	408,00		261,00	177,00	32,20	392,00	766,00	63,80	65,00	181,00	266,00	504,00	446,00	1 083,00	545,00	140,00	196,00	885,00	200,00	87,40	378,00
Arraiolos	115,00	151,00	316,00	137,00	196,00	457,00	107,00	636,00	153,00	649,00		365,00	99,10	282,00	699,00	874,00	281,00	370,00	292,00	89,10	298,00	253,00	1 021,00	488,00	141,00	161,00	856,00	131,00	338,00	483,00
Arruda dos Vinhos	46,70	68,30	207,00	27,60	305,00	348,00	69,40	687,00	43,30	597,00		395,00	145,00	230,00	589,00	899,00	271,00	260,00	322,00	71,20	417,00	269,00	1 134,00	584,00	90,60	26,40	952,00	12,20	286,00	508,00
Astúrias	825,00	693,00	595,00	773,00	607,00	496,00	814,00	296,00	755,00	290,00		385,00	624,00	580,00	253,00	459,00	535,00	545,00	465,00	850,00	777,00	959,00	815,00	513,00	671,00	775,00	803,00	763,00	510,00	251,00
Aveiro	263,00	198,00	33,00	213,00	332,00	134,00	288,00	550,00	194,00	383,00		253,00	201,00	7,50	375,00	762,00	55,90	42,30	173,00	290,00	550,00	466,00	1 028,00	529,00	164,00	207,00	880,00	224,00	72,00	371,00
Avis	157,00	92,60	215,00	143,00	170,00	356,00	150,00	614,00	146,00	606,00		322,00	56,30	238,00	597,00	833,00	279,00	268,00	249,00	131,00	330,00	295,00	1 010,00	449,00	98,00	203,00	817,00	124,00	294,00	435,00
Azambuja	61,00	39,10	188,00	0,00	240,00	333,00	83,50	669,00	13,90	567,00		404,00	127,00	212,00	569,00	876,00	255,00	243,00	303,00	87,10	478,00	267,00	1 185,00	603,00	71,80	76,10	972,00	19,40	265,00	488,00
Badajoz	218,00	181,00	281,00	240,00	0,00	452,00	290,00	538,00	269,00	752,00		339,00	155,00	331,00	661,00	746,00	374,00	362,00	314,00	272,00	209,00	297,00	949,00	367,00	219,00	332,00	736,00	298,00	384,00	358,00
Barcelona	1 239,00	1 203,00	1 159,00	1 261,00	1 026,00	1 149,00	1 232,00	607,00	1 277,00	1 088,00		954,00	1 092,00	1 146,00	995,00	471,00	1 097,00	1 156,00	989,00	1 213,00	995,00	1 377,00	101,00	691,00	1 158,00	1 285,00	350,00	1 256,00	1 162,00	826,00
Barcelos	385,00	318,00	155,00	333,00	452,00	0,00	404,00	548,00	311,00	266,00		263,00	318,00	136,00	268,00	32,80	156,00	96,60	273,00	407,00	645,00	587,00	1 072,00	656,00	281,00	332,00	947,00	341,00	67,90	355,00
Barreiro	33,00	109,00	263,00	83,50	290,00	404,00	0,00	745,00	101,00	643,00		480,00	203,00	287,00	645,00	953,00	330,00	318,00	379,00	33,00	447,00	237,00	1 155,00	573,00	148,00	85,70	942,00	64,30	340,00	565,00
Batalha	131,00	88,00	113,00	76,10	274,00	254,00	155,00	654,00	84,50	503,00		342,00	114,00	132,00	495,00	866,00	177,00	169,00	290,00	156,00	484,00	356,00	1 053,00	553,00	54,00	92,30	102,00	90,00	192,00	460,00
Beja	170,00	206,00	371,00	192,00	183,00	512,00	162,00	716,00	208,00	762,00		470,00	204,00	395,00	754,00	931,00	436,00	424,00	396,00	144,00	226,00	123,00	1 099,00	536,00	255,00	216,00	841,00	186,00	451,00	540,00
Benavente	67,50	40,00	211,00	31,90	295,00	352,00	60,30	691,00	47,60	602,00		399,00	150,00	235,00	594,00	903,00	276,00	264,00	326,00	79,70	391,00	243,00	715,00	589,00	94,90	82,60	957,00	26,00	291,00	512,00
Bombarral	154,00	72,40	171,00	64,70	307,00	307,00	107,00	688,00	68,90	557,00		401,00	147,00	179,00	594,00	901,00	229,00	216,00	323,00	109,00	461,00	312,00	1 136,00	585,00	92,20	25,80	954,00	78,50	246,00	510,00
Borba	172,00	132,00	277,00	194,00	88,50	406,00	165,00	586,00	210,00	668,00		356,00	122,00	301,00	706,00	845,00	341,00	330,00	282,00	146,00	291,00	310,00	968,00	459,00	148,00	218,00	827,00	189,00	345,00	454,00
Burgos	722,00	625,00	558,00	669,00	538,00	548,00	745,00	0,00	651,00	487,00		366,00	556,00	554,00	395,00	216,00	504,00	596,00	397,00	727,00	709,00	891,00	531,00	316,00	603,00	714,00	588,00	680,00	561,00	226,00
Cáceres	308,00	254,00	321,00	330,00	92,60	462,00	300,00	450,00	280,00	664,00		232,00	165,00	344,00	571,00	661,00	327,00	374,00	219,00	282,00	265,00	445,00	845,00	262,00	232,00	354,00	603,00	324,00	400,00	270,00
Cadaval	87,70	63,80	177,00	37,00	301,00	313,00	109,00	682,00	36,30	563,00		390,00	141,00	185,00	555,00	894,00	236,00	222,00	317,00	116,00	445,00	297,00	1 129,00	579,00	85,80	32,30	947,00	50,90	252,00	503,00
Cantanhede	232,00	165,00	21,60	180,00	299,00	167,00	255,00	583,00	161,00	417,00		269,00	168,00	41,60	407,00	797,00	90,70	78,80	208,00	257,00	518,00	433,00	1 061,00	563,00	131,00	177,00	915,00	191,00	104,00	404,00
Cartaxo	77,50	31,80	170,00	13,90	269,00	311,00	101,00	650,00	0,00	561,00		358,00	109,00	194,00	552,00	863,00	235,00	223,00	285,00	102,00	430,00	282,00	1 201,00	546,00	53,70	65,00	916,00	36,00	250,00	471,00
Celorico de Basto	391,00	323,00	161,00	338,00	458,00	80,90	414,00	493,00	320,00	339,00		193,00	326,00	145,00	248,00	697,00	164,00	110,00	210,00	415,00	684,00	591,00	971,00	598,00	289,00	341,00	888,00	349,00	82,30	281,00
Cidade Real	523,00	487,00	587,00	546,00	310,00	775,00	516,00	431,00	561,00	773,00		473,00	429,00	6532																

Mangualde	303,00	235,00	108,00	250,00	346,00	200,00	325,00	454,00	231,00	426,00	157,00	221,00	103,00	364,00	666,00	53,70	112,00	76,40	327,00	525,00	503,00	932,00	432,00	201,00	257,00	783,00	261,00	138,00	275,00
Miranda do Corvo	208,00	111,00	62,80	156,00	259,00	204,00	231,00	560,00	138,00	454,00	263,00	127,00	86,50	446,00	772,00	127,00	116,60	183,00	233,00	477,00	409,00	1 058,00	538,00	89,50	177,00	890,00	167,00	142,00	381,00
Mogadouro	475,00	378,00	279,00	422,00	243,00	498,00	324,00	404,00	441,00		45,10	309,00	275,00	406,00	539,00	225,00	247,00	125,00	499,00	557,00	675,00	813,00	425,00	356,00	470,00	780,00	433,00	220,00	104,00
Moimenta da Beira	371,00	304,00	143,00	319,00	361,00	181,00	394,00	468,00	300,00	381,00	144,00	236,00	138,00	319,00	740,00	88,60	147,00	75,90	396,00	540,00	572,00	947,00	447,00	270,00	326,00	798,00	330,00	158,00	244,00
Montemor-o-Novo	94,40	130,00	296,00	117,00	203,00	437,00	86,20	661,00	132,00	686,00	386,00	113,00	275,00	678,00	904,00	360,00	349,00	313,00	68,40	305,00	232,00	1 043,00	518,00	180,00	141,00	886,00	111,00	375,00	513,00
Montemor-o-Velho	210,00	155,00	50,90	169,00	290,00	192,00	236,00	577,00	151,00	442,00	281,00	159,00	73,10	434,00	790,00	115,00	104,00	200,00	238,00	571,00	422,00	1 055,00	556,00	120,00	155,00	907,00	180,00	130,00	399,00
Montijo	39,60	90,10	245,00	64,70	288,00	386,00	25,70	724,00	81,10	635,00	433,00	183,00	266,00	627,00	937,00	309,00	298,00	359,00	32,80	384,00	236,00	1 125,00	600,00	128,00	66,80	968,00	45,40	324,00	546,00
Mortágua	259,00	192,00	27,00	207,00	326,00	182,00	282,00	516,00	188,00	455,00	216,00	195,00	64,50	424,00	728,00	74,60	85,70	139,00	283,00	544,00	460,00	994,00	494,00	158,00	214,00	846,00	217,00	120,00	337,00
Moura	202,00	238,00	404,00	225,00	121,00	545,00	195,00	672,00	240,00	794,00	467,00	201,00	427,00	786,00	868,00	468,00	457,00	394,00	176,00	224,00	174,00	1 054,00	474,00	288,00	248,00	778,00	219,00	483,00	477,00
Mourão	183,00	219,00	385,00	206,00	116,00	526,00	176,00	643,00	221,00	780,00	427,00	193,00	408,00	768,00	864,00	449,00	438,00	353,00	157,00	218,00	214,00	1 025,00	469,00	269,00	230,00	774,00	200,00	464,00	473,00
Navarra	929,00	837,00	766,00	876,00	746,00	32,80	953,00	216,00	863,00	694,00	568,00	763,00	761,00	605,00	0,00	716,00	807,00	609,00	958,00	919,00	1 045,00	394,00	446,00	813,00	925,00	472,00	892,00	772,00	435,00
Oliveira de Frades	307,00	239,00	63,80	255,00	374,00	156,00	330,00	504,00	235,00	437,00	207,00	243,00	59,20	362,00	716,00	0,00	69,10	127,00	330,00	568,00	511,00	1 020,00	491,00	205,00	254,00	831,00	264,00	90,60	324,00
Oliveira do Bairro	262,00	195,00	12,10	209,00	329,00	140,00	284,00	551,00	191,00	390,00	255,00	198,00	21,70	382,00	764,00	57,50	52,60	174,00	286,00	547,00	462,00	1 030,00	530,00	161,00	211,00	881,00	220,00	78,90	373,00
Oliveira do Hospital	289,00	222,00	68,80	237,00	309,00	239,00	312,00	474,00	218,00	460,00	178,00	225,00	122,00	398,00	687,00	78,80	151,00	97,20	314,00	545,00	490,00	952,00	453,00	188,00	244,00	804,00	248,00	177,00	296,00
Ourense	526,00	465,00	302,00	480,00	617,00	178,00	555,00	456,00	461,00	173,00	285,00	468,00	287,00	94,40	667,00	269,00	278,00	300,00	557,00	786,00	738,00	949,00	565,00	431,00	482,00	856,00	491,00	218,00	264,00
Ovar	295,00	228,00	65,00	243,00	362,00	96,60	318,00	596,00	223,00	346,00	266,00	231,00	47,00	343,00	807,00	69,10	0,00	186,00	319,00	557,00	499,00	1 120,00	550,00	193,00	241,00	890,00	253,00	35,60	355,00
Paços de Ferreira	352,00	285,00	122,00	300,00	419,00	76,90	375,00	508,00	281,00	383,00	208,00	288,00	107,00	317,00	743,00	125,00	71,30	242,00	376,00	637,00	553,00	986,00	643,00	251,00	302,00	933,00	310,00	40,60	296,00
Palmeira	35,20	114,00	264,00	84,00	270,00	405,00	26,80	744,00	101,00	655,00	452,00	203,00	285,00	647,00	956,00	329,00	317,00	379,00	8,40	366,00	217,00	1 107,00	581,00	148,00	86,10	950,00	64,90	343,00	565,00
Paredes	345,00	278,00	115,00	293,00	412,00	86,10	368,00	497,00	275,00	389,00	197,00	281,00	100,00	324,00	748,00	119,00	64,70	235,00	370,00	631,00	546,00	976,00	648,00	244,00	296,00	939,00	304,00	37,10	286,00
Penafiel	350,00	283,00	120,00	298,00	417,00	80,40	373,00	493,00	280,00	384,00	193,00	286,00	105,00	318,00	743,00	124,00	69,80	210,00	375,00	636,00	551,00	971,00	644,00	249,00	301,00	934,00	309,00	42,20	281,00
Penamacor	286,00	189,00	231,00	233,00	244,00	323,00	309,00	425,00	215,00	549,00	148,00	120,00	226,00	546,00	658,00	177,00	235,00	95,80	310,00	453,00	486,00	900,00	361,00	167,00	278,00	729,00	244,00	261,00	267,00
Peniche	112,00	85,60	184,00	78,40	320,00	320,00	138,00	701,00	82,10	570,00	414,00	160,00	192,00	562,00	914,00	243,00	229,00	336,00	139,00	491,00	343,00	1 149,00	599,00	105,00	56,40	967,00	92,30	259,00	523,00
Pinhel	356,00	260,00	181,00	303,00	314,00	273,00	379,00	397,00	285,00	469,00	67,00	190,00	176,00	394,00	609,00	127,00	186,00	0,00	380,00	509,00	561,00	913,00	383,00	236,00	348,00	723,00	314,00	207,00	216,00
Pombal	180,00	113,00	76,30	127,00	293,00	217,00	203,00	603,00	109,00	467,00	306,00	133,00	104,00	459,00	815,00	141,00	129,00	225,00	204,00	529,00	381,00	1 065,00	572,00	78,60	135,00	940,00	138,00	156,00	424,00
Ponte de Lima	403,00	336,00	173,00	351,00	476,00	49,20	426,00	588,00	333,00	284,00	272,00	339,00	158,00	226,00	775,00	177,00	121,00	293,00	428,00	689,00	604,00	1 081,00	676,00	302,00	354,00	966,00	362,00	88,30	369,00
Ponte de Sor	150,00	64,50	187,00	136,00	173,00	328,00	137,00	584,00	118,00	577,00	293,00	27,20	210,00	569,00	797,00	251,00	240,00	219,00	138,00	391,00	309,00	0,00	463,00	69,90	181,00	820,00	115,00	266,00	406,00
Portalegre	219,00	125,00	210,00	188,00	110,00	351,00	212,00	581,00	169,00	601,00	289,00	55,00	234,00	593,00	776,00	275,00	263,00	216,00	193,00	329,00	357,00	978,00	389,00	121,00	232,00	757,00	199,00	290,00	385,00
Porto de Mós	128,00	82,00	121,00	72,80	253,00	262,00	151,00	634,00	72,10	512,00	351,00	93,10	114,00	504,00	847,00	186,00	178,00	269,00	153,00	481,00	333,00	1 082,00	531,00	35,10	93,40	900,00	86,70	201,00	469,00
Póvoa de Varzim	357,00	290,00	127,00	305,00	424,00	31,20	380,00	551,00	287,00	281,00	255,00	293,00	112,00	290,00	763,00	131,00	72,60	247,00	382,00	643,00	558,00	1 033,00	663,00	256,00	308,00	954,00	316,00	42,30	357,00
Redondo	163,00	199,00	280,00	186,00	164,00	421,00	156,00	609,00	201,00	670,00	371,00	137,00	303,00	729,00	861,00	344,00	333,00	298,00	137,00	266,00	214,00	991,00	474,00	163,00	210,00	842,00	180,00	359,00	470,00
Reguengos de Monsaraz	162,00	198,00	364,00	184,00	136,00	505,00	154,00	623,00	200,00	754,00	399,00	165,00	387,00	746,00	883,00	428,00	417,00	325,00	136,00	238,00	204,00	1 005,00	489,00	247,00	208,00	793,00	179,00	443,00	492,00
Rio Maior	92,30	42,20	150,00	36,90	277,00	291,00	115,00	658,00	38,70	541,00	366,00	117,00	169,00	533,00	870,00	237,00	223,00	293,00	117,00	445,00	297,00	1 105,00	555,00	62,00	58,20	924,00	50,80	230,00	479,00
Santa Comba Dão	265,00	198,00	36,50	213,00	332,00	191,00	288,00	508,00	195,00	447,00	211,00	201,00	74,00	385,00	720,00	66,40	125,00	130,00	290,00	579,00	466,00	986,00	486,00	164,00	220,00	837,00	224,00	130,00	329,00
Santarém	92,50	12,10	165,00	27,20	263,00	306,00	110,00	644,00	13,50	555,00	353,00	103,00	188,00	547,00	857,00	229,00	218,00	279,00	118,00	430,00	281,00	1 092,00	542,00	48,40	87,70	910,00	51,00	244,00	466,00
São João da Pesqueira	413,00	316,00	190,00	361,00	372,00	184,00	436,00	422,00	342,00	384,00	98,50	247,00	185,00	322,00	637,00	136,00	188,00	78,20	437,00	551,00	614,00	921,00	458,00	294,00	360,00	813,00	371,00	161,00	201,00
Saragoça	932,00	895,00	852,00	954,00	718,00	841,00	924,00	300,00	970,00	781,00	646,00	784,00	839,00	688,00	164,00	789,00	890,00	682,00	906,00	845,00	1 017,00	236,00	383,00	850,00	978,00	309,00	948,00	855,00	519,00
Segóvia	605,00	552,00	486,00	596,00	390,00	526,00	598,00	199,00	578,00	527,00	288,00	483,00	481,00	434,00	410,00	432,00	490,00	324,00	665,00	604,00	829,00	576,00	159,00	530,00	641,00	449,00	607,00	539,00	190,00
Serpa	195,00	231,00	397,00	217,00	158,00	538,00	187,00	737,00	233,00	787,00	490,00	224,00																	

Tabela F 2 - Matriz dos custos anuais de deslocações realizadas em vazio para o Serviço_LAS

Pontos de carga/descarga	Custos variáveis anuais associados a cada localização (€)																														
	Almada	Alpiarça	Anadia	Azambuja	Badajoz	Barcelos	Barreiro	Burgos	Cartaxo	Corunha	Freixo de Espada à Cinta	Gavião	Ilhavo	Lago	Navarra	Oliveira de Frades	Ovar	Pinhel	Setúbal	Sevilha	Silves	Tarragona	Toledo	Torres Novas	Torres Vedras	Valência	Vila Franca de Xira	Vila Nova de Gaia	Zamora		
Agueda	1 578,00	1 194,00	116,40	1 284,00	1 998,00	816,00	1 734,00	3 204,00	1 176,00	2 316,00		1 422,00	1 212,00	157,20	2 268,00	4 476,00	239,40	293,40	942,00	1 746,00	3 312,00	2 802,00	6 072,00	3 078,00	990,00	1 290,00	5 184,00	1 350,00	447,60	2 130,00	
Albacete	853,00	706,00	782,00	811,00	537,00	849,00	846,00	489,00	780,00	850,00		592,00	679,00	777,00	760,00	604,00	727,00	787,00	620,00	829,00	501,00	820,00	420,00	246,00	748,00	856,00	188,00	822,00	809,00	513,00	
Albergaria-a-Velha	1 104,00	832,00	129,20	892,00	1 372,00	500,00	1 192,00	2 296,00	820,00	1 496,00		936,00	844,00	111,60	1 464,00	2 972,00	145,60	149,60	612,00	1 200,00	2 244,00	1 904,00	4 032,00	2 036,00	696,00	892,00	3 440,00	936,00	252,40	1 408,00	
Alcobaca	516,00	296,00	536,00	254,80	1 216,00	1 084,00	624,00	2 748,00	256,40	2 080,00		1 456,00	576,00	568,00	2 048,00	3 596,00	772,00	716,00	1 240,00	628,00	1 892,00	1 296,00	4 532,00	2 332,00	358,00	300,00	3 804,00	314,80	856,00	2 032,00	
Alenquer	1 437,50	1 497,50	4 950,00	442,50	7 425,00	8 475,00	2 005,00	16 950,00	872,50	14 725,00		9 650,00	3 425,00	5 550,00	14 525,00	22 275,00	6 575,00	6 275,00	7 825,00	2 052,50	10 250,00	6 550,00	28 150,00	14 375,00	2 055,00	745,00	23 600,00	400,00	6 950,00	12 475,00	
Aljô	884,00	704,00	424,00	780,00	906,00	316,00	930,00	856,00	696,00	710,00		254,00	656,00	394,00	356,00	1 338,00	300,00	324,00	288,00	934,00	1 264,00	1 286,00	1 814,00	1 074,00	636,00	786,00	1 654,00	756,00	268,00	430,00	
Almada	0,00	16 068,00	37 596,00	9 516,00	34 008,00	60 060,00	5 148,00	112 632,00	12 090,00	99 528,00		71 136,00	27 924,00	40 404,00	96 096,00	144 924,00	47 892,00	46 020,00	55 536,00	6 364,80	68 640,00	38 220,00	181 428,00	90 636,00	19 344,00	9 360,00	136 500,00	7 191,60	49 452,00	89 232,00	
Almeirim	1 976,00	144,40	2 736,00	746,70	4 047,00	5 491,00	1 919,00	12 008,00	400,90	10 298,00		6 992,00	1 759,40	3 800,00	10 621,00	16 492,00	4 560,00	4 351,00	5 529,00	2 071,00	8 683,00	5 168,00	20 539,00	9 899,00	1 136,20	1 882,90	17 499,00	1 185,60	4 845,00	9 063,00	
Alpiarça	2 472,00	0,00	4 176,00	938,40	4 344,00	7 632,00	2 616,00	15 000,00	763,20	13 704,00		8 640,00	2 001,60	4 752,00	13 296,00	20 088,00	5 736,00	5 472,00	6 240,00	2 808,00	10 296,00	6 720,00	27 024,00	12 528,00	835,20	2 349,60	21 360,00	1 468,80	5 784,00	10 704,00	
Anadia	7 712,00	5 568,00	0,00	6 016,00	8 992,00	4 960,00	8 416,00	17 856,00	5 440,00	13 056,00		8 352,00	5 664,00	1 030,40	12 544,00	24 512,00	2 041,60	2 080,00	5 792,00	8 512,00	16 128,00	14 272,00	34 656,00	17 440,00	4 480,00	6 272,00	28 320,00	6 400,00	2 796,80	12 096,00	
Arraiolos	230,00	302,00	632,00	274,00	392,00	914,00	214,00	1 272,00	306,00	1 298,00		730,00	198,20	564,00	1 398,00	1 748,00	562,00	740,00	584,00	178,20	596,00	506,00	2 042,00	976,00	282,00	322,00	1 712,00	262,00	676,00	966,00	
Arruda dos Vinhos	560,40	819,60	2 484,00	331,20	3 660,00	4 176,00	832,80	8 244,00	519,60	7 164,00		4 740,00	1 740,00	2 760,00	7 068,00	1 788,00	3 252,00	3 120,00	3 864,00	854,40	5 004,00	3 228,00	13 608,00	7 008,00	1 087,20	316,80	11 424,00	146,40	3 432,00	6 096,00	
Astúrias	1 650,00	1 386,00	1 194,00	1 546,00	1 214,00	992,00	1 628,00	592,00	1 510,00	580,00		770,00	1 248,00	1 160,00	506,00	918,00	1 070,00	1 090,00	930,00	1 700,00	1 630,00	1 026,00	1 542,00	1 550,00	1 666,00	1 526,00	1 020,00	502,00	1 020,00	502,00	
Aveiro	1 052,00	792,00	132,00	852,00	1 328,00	536,00	1 152,00	2 200,00	776,00	1 532,00		1 012,00	804,00	30,00	1 500,00	3 048,00	223,60	169,20	492,00	1 160,00	2 200,00	1 864,00	4 112,00	2 116,00	656,00	828,00	3 520,00	896,00	288,00	1 484,00	
Avis	1 099,00	648,20	1 505,00	1 001,00	1 190,00	2 492,00	1 050,00	4 298,00	1 022,00	4 242,00		2 254,00	394,10	1 666,00	4 179,00	5 845,00	1 953,00	1 876,00	1 743,00	917,00	2 310,00	2 065,00	7 070,00	3 143,00	686,00	1 421,00	5 719,00	868,00	2 058,00	3 045,00	
Azambuja	4 880,00	3 128,00	15 040,00	0,00	19 200,00	26 640,00	6 680,00	53 520,00	1 112,00	45 360,00		32 320,00	10 160,00	16 960,00	70 080,00	19 440,00	24 240,00	6 968,00	38 240,00	21 360,00	94 800,00	48 240,00	5 744,00	6 088,00	77 760,00	1 552,00	21 200,00	39 040,00	1 552,00	21 200,00	39 040,00
Badajoz	4 578,00	3 801,00	5 901,00	5 040,00	0,00	9 492,00	6 090,00	11 298,00	5 649,00	15 792,00		7 119,00	3 255,00	6 951,00	13 881,00	15 666,00	7 854,00	7 602,00	6 594,00	5 712,00	4 389,00	6 237,00	19 929,00	7 707,00	4 599,00	6 972,00	15 456,00	6 258,00	8 064,00	7 518,00	
Barcelona	1 239,00	1 203,00	1 159,00	1 261,00	1 026,00	1 149,00	1 232,00	607,00	1 277,00	1 088,00		954,00	1 092,00	1 146,00	995,00	471,00	1 097,00	1 156,00	989,00	1 213,00	995,00	1 377,00	101,00	691,00	1 158,00	1 285,00	350,00	1 256,00	1 162,00	826,00	
Barcelos	10 010,00	8 268,00	4 030,00	6 658,00	11 752,00	0,00	10 504,00	14 248,00	8 086,00	6 916,00		6 838,00	8 268,00	3 536,00	6 968,00	8 52,00	4 056,00	2 511,60	7 098,00	10 582,00	16 770,00	15 262,00	27 872,00	17 056,00	7 306,00	8 632,00	24 622,00	8 866,00	1 765,40	9 230,00	
Barreiro	2 937,00	9 701,00	23 407,00	7 431,50	25 810,00	35 956,00	0,00	66 305,00	8 989,00	57 227,00		42 720,00	18 067,00	25 543,00	57 405,00	84 817,00	29 370,00	28 302,00	33 731,00	39 783,00	21 093,00	102 795,00	50 997,00	13 172,00	7 627,30	83 838,00	5 722,70	30 260,00	50 285,00	1 484,00	
Batalha	393,00	264,00	339,00	228,30	822,00	762,00	465,00	1 965,00	253,50	1 509,00		1 026,00	342,00	396,00	1 485,00	2 604,00	531,00	507,00	870,00	468,00	1 452,00	1 068,00	3 309,00	1 659,00	162,00	276,90	2 763,00	270,00	576,00	1 380,00	
Beja	1 360,00	1 648,00	2 968,00	1 536,00	1 464,00	4 096,00	1 296,00	5 728,00	1 664,00	6 096,00		3 760,00	1 632,00	3 160,00	6 032,00	7 448,00	3 488,00	3 392,00	3 168,00	1 152,00	1 808,00	984,00	8 792,00	4 288,00	2 040,00	1 728,00	6 728,00	1 488,00	3 608,00	4 520,00	
Benavente	135,00	80,00	422,00	63,80	590,00	704,00	120,60	1 382,00	95,20	1 204,00		798,00	300,00	470,00	1 188,00	1 806,00	552,00	528,00	652,00	159,40	782,00	486,00	1 430,00	1 178,00	189,80	165,20	1 914,00	52,00	582,00	1 024,00	
Bombarral	2 002,00	941,20	2 223,00	841,10	3 991,00	3 991,00	1 391,00	8 944,00	895,70	7 241,00		5 213,00	1 911,00	2 327,00	7 722,00	11 713,00	2 977,00	2 808,00	4 199,00	1 417,00	5 993,00	4 056,00	14 768,00	7 605,00	1 198,60	335,40	12 402,00	1 020,50	3 198,00	6 630,00	
Borba	172,00	132,00	277,00	194,00	88,50	406,00	165,00	668,00	210,00	668,00		356,00	122,00	301,00	706,00	845,00	341,00	330,00	282,00	146,00	291,00	310,00	968,00	459,00	148,00	218,00	827,00	189,00	345,00	454,00	
Burgos	2 166,00	1 875,00	1 674,00	2 007,00	1 614,00	1 644,00	2 235,00	0,00	1 953,00	1 461,00		1 098,00	1 668,00	1 662,00	1 185,00	648,00	1 512,00	1 788,00	1 191,00	2 181,00	2 127,00	2 673,00	1 593,00	948,00	1 809,00	2 142,00	1 764,00	2 040,00	1 683,00	1 678,00	
Ciêeres	1 540,00	1 270,00	1 650,00	1 650,00	463,00	2 310,00	1 500,00	2 250,00	1 400,00	3 320,00		1 160,00	825,00	1 720,00	2 855,00	3 320,00	1 635,00	1 870,00	1 095,00	1 410,00	1 325,00	2 225,00	4 225,00	1 310,00	1 160,00	1 770,00	1 310,00	1 620,00	2 000,00	1 350,00	
Cadaval	1 578,60	1 148,40	3 186,00	666,00	5 418,00	5 634,00	1 962,00	12 276,00	653,40	10 134,00		7 020,00	2 538,00	3 330,00	9 990,00	16 092,00	4 248,00	3 996,00	5 706,00	2 088,00	8 010,00	5 346,00	20 322,00	10 422,00	1 544,40	581,40	17 046,00	916,20	4 536,00	9 054,00	
Cantanhede	928,00	660,00	86,40	720,00	1 196,00	668,00	1 020,02																								

Mangualde	2 121,00	1 645,00	756,00	1 750,00	2 422,00	1 400,00	2 275,00	3 178,00	1 617,00	2 982,00	1 099,00	1 547,00	721,00	2 548,00	4 662,00	375,90	784,00	534,80	2 289,00	3 675,00	3 521,00	6 524,00	3 024,00	1 407,00	1 799,00	5 481,00	1 827,00	966,00	1 925,00
Miranda do Corvo	416,00	222,00	125,60	312,00	518,00	408,00	462,00	1 320,00	276,00	908,00	526,00	254,00	173,00	892,00	1 544,00	254,00	232,00	366,00	466,00	954,00	818,00	2 116,00	1 076,00	179,00	354,00	1 780,00	334,00	284,00	762,00
Mogadouro	475,00	378,00	279,00	422,00	422,00	243,00	498,00	324,00	404,00	441,00	45,10	309,00	275,00	406,00	539,00	225,00	247,00	406,00	499,00	557,00	675,00	813,00	425,00	356,00	470,00	705,00	433,00	220,00	104,00
Moimenta da Beira	742,00	608,00	286,00	638,00	722,00	362,00	788,00	936,00	600,00	762,00	288,00	472,00	276,00	638,00	1 480,00	177,20	294,00	151,80	792,00	1 080,00	1 144,00	1 894,00	894,00	540,00	652,00	1 596,00	660,00	316,00	488,00
Montemor-o-Novo	94,00	130,00	296,00	117,00	203,00	437,00	86,20	661,00	132,00	686,00	386,00	113,00	275,00	678,00	904,00	360,00	349,00	313,00	68,00	305,00	232,00	1 043,00	518,00	180,00	141,00	886,00	111,00	375,00	513,00
Montemor-o-Velho	420,00	310,00	101,80	338,00	580,00	384,00	472,00	1 154,00	302,00	884,00	562,00	318,00	146,20	868,00	1 580,00	230,00	208,00	400,00	476,00	1 142,00	844,00	2 110,00	1 112,00	240,00	310,00	1 814,00	360,00	260,00	798,00
Montijo	277,20	630,70	1 715,00	452,90	2 016,00	2 702,00	179,90	5 068,00	597,70	4 445,00	3 031,00	1 281,00	1 862,00	4 389,00	6 559,00	2 163,00	2 086,00	2 513,00	229,60	2 688,00	1 652,00	7 875,00	4 200,00	896,00	467,60	6 776,00	317,80	2 268,00	3 822,00
Moriuga	259,00	192,00	27,00	207,00	326,00	182,00	282,00	516,00	188,00	455,00	216,00	195,00	64,50	424,00	728,00	74,60	85,70	139,00	283,00	544,00	460,00	994,00	494,00	158,00	214,00	846,00	994,00	217,00	337,00
Moura	1 212,00	1 428,00	2 424,00	1 350,00	726,00	3 270,00	1 170,00	4 032,00	1 440,00	4 764,00	2 802,00	1 206,00	2 562,00	4 716,00	5 208,00	2 808,00	2 742,00	2 364,00	1 056,00	1 344,00	1 044,00	6 324,00	2 844,00	1 728,00	1 488,00	4 668,00	1 314,00	2 898,00	2 862,00
Mourão	549,00	657,00	1 155,00	618,00	348,00	1 578,00	528,00	1 929,00	663,00	2 340,00	1 281,00	579,00	1 224,00	2 304,00	2 592,00	1 347,00	1 314,00	1 059,00	471,00	654,00	642,00	3 075,00	1 407,00	807,00	690,00	2 322,00	600,00	1 392,00	1 419,00
Navarra	4 645,00	4 185,00	3 830,00	4 380,00	3 730,00	164,00	4 765,00	1 080,00	4 315,00	3 470,00	2 840,00	3 815,00	3 805,00	3 025,00	0,00	3 580,00	4 035,00	3 045,00	4 790,00	4 595,00	5 225,00	1 970,00	2 230,00	4 065,00	4 625,00	2 360,00	4 460,00	3 860,00	2 175,00
Oliveira de Frades	6 140,00	4 780,00	1 276,00	5 100,00	7 480,00	3 120,00	6 600,00	10 080,00	4 700,00	8 740,00	4 140,00	4 860,00	1 184,00	7 240,00	14 320,00	0,00	1 382,00	2 540,00	6 600,00	11 360,00	10 220,00	20 400,00	9 820,00	4 100,00	5 080,00	16 620,00	5 280,00	1 812,00	6 480,00
Oliveira do Bairro	1 310,00	975,00	60,50	1 045,00	1 645,00	700,00	1 420,00	2 755,00	955,00	1 950,00	1 275,00	990,00	108,50	1 910,00	3 820,00	287,50	263,00	870,00	1 430,00	2 735,00	2 310,00	5 150,00	2 650,00	805,00	1 055,00	4 405,00	1 100,00	394,50	1 865,00
Oliveira do Hospital	578,00	444,00	137,60	474,00	618,00	478,00	624,00	948,00	436,00	920,00	356,00	450,00	244,00	796,00	1 374,00	157,60	302,00	194,40	628,00	1 090,00	980,00	1 904,00	906,00	376,00	488,00	1 608,00	496,00	354,00	592,00
Ourense	2 104,00	1 860,00	1 208,00	1 920,00	2 468,00	712,00	2 220,00	1 824,00	1 844,00	692,00	1 140,00	1 872,00	1 148,00	377,60	2 668,00	1 076,00	1 112,00	1 200,00	2 228,00	3 144,00	2 952,00	3 796,00	2 260,00	1 724,00	1 928,00	3 424,00	1 964,00	872,00	1 056,00
Ovar	5 900,00	4 560,00	1 300,00	4 860,00	7 240,00	1 932,00	6 360,00	11 920,00	4 460,00	6 920,00	5 320,00	4 620,00	940,00	6 860,00	16 140,00	1 382,00	0,00	3 720,00	6 380,00	11 140,00	9 980,00	22 400,00	11 000,00	3 860,00	4 820,00	17 800,00	5 060,00	712,00	7 100,00
Pacos de Ferreira	704,00	570,00	244,00	600,00	836,00	153,80	750,00	1 016,00	562,00	766,00	416,00	576,00	214,00	634,00	1 486,00	250,00	142,60	484,00	752,00	1 274,00	1 106,00	1 972,00	1 286,00	502,00	604,00	1 866,00	620,00	81,20	592,00
Palmeira	105,60	342,00	792,00	252,00	810,00	1 215,00	80,40	2 232,00	303,00	1 965,00	1 356,00	609,00	855,00	1 941,00	2 868,00	987,00	951,00	1 137,00	25,20	1 098,00	651,00	3 321,00	1 743,00	444,00	258,30	2 850,00	194,70	1 029,00	1 695,00
Parades	1 380,00	1 112,00	460,00	1 172,00	1 648,00	344,40	1 472,00	1 988,00	1 100,00	1 556,00	788,00	1 124,00	400,00	1 296,00	2 992,00	476,00	258,80	940,00	1 480,00	2 524,00	2 184,00	3 904,00	2 592,00	976,00	1 184,00	3 756,00	1 216,00	148,40	1 144,00
Penafiel	350,00	283,00	120,00	298,00	417,00	80,40	373,00	493,00	280,00	384,00	193,00	286,00	105,00	318,00	743,00	124,00	69,80	210,00	375,00	636,00	551,00	971,00	644,00	249,00	301,00	934,00	309,00	44,20	281,00
Penamacor	1 430,00	945,00	1 155,00	1 165,00	1 220,00	1 615,00	2 125,00	1 075,00	2 745,00	3 490,00	740,00	600,00	1 130,00	2 730,00	3 290,00	885,00	1 175,00	479,00	1 530,00	2 265,00	2 430,00	4 500,00	1 805,00	835,00	1 390,00	3 645,00	1 220,00	1 305,00	1 335,00
Peniche	1 680,00	1 284,00	2 760,00	1 176,00	4 800,00	4 800,00	2 070,00	10 515,00	1 231,50	8 550,00	6 210,00	2 400,00	2 880,00	8 430,00	13 710,00	3 645,00	3 345,00	5 040,00	2 085,00	7 365,00	5 145,00	17 235,00	8 985,00	1 575,00	846,00	14 505,00	1 384,50	3 885,00	7 845,00
Pinhel	2 492,00	1 820,00	1 267,00	2 121,00	2 198,00	1 911,00	2 653,00	2 779,00	1 995,00	3 283,00	469,00	1 330,00	1 232,00	2 758,00	6 230,00	889,00	1 302,00	0,00	2 660,00	3 563,00	3 927,00	6 391,00	2 681,00	1 652,00	2 436,00	5 061,00	2 198,00	1 449,00	1 512,00
Pombal	900,00	565,00	381,50	635,00	1 465,00	1 085,00	1 015,00	3 015,00	545,00	2 335,00	1 530,00	665,00	520,00	2 295,00	4 075,00	705,00	645,00	1 125,00	1 020,00	2 645,00	1 905,00	5 325,00	2 860,00	393,00	675,00	4 700,00	690,00	780,00	2 120,00
Ponte de Lima	403,00	336,00	173,00	351,00	470,00	49,20	426,00	588,00	333,00	284,00	272,00	339,00	158,00	226,00	775,00	177,00	121,00	293,00	428,00	689,00	604,00	1 081,00	676,00	302,00	354,00	966,00	362,00	88,30	369,00
Ponte de Sor	1 650,00	709,50	2 057,00	1 496,00	1 903,00	3 608,00	1 507,00	6 424,00	1 298,00	6 347,00	3 223,00	299,20	2 310,00	6 259,00	8 767,00	2 761,00	2 640,00	2 409,00	1 518,00	4 301,00	3 399,00	0,00	5 093,00	768,90	1 991,00	9 020,00	1 265,00	2 926,00	4 466,00
Portalegre	219,00	125,00	210,00	188,00	110,00	351,00	212,00	581,00	169,00	601,00	289,00	55,00	234,00	593,00	776,00	275,00	263,00	216,00	193,00	329,00	357,00	978,00	389,00	121,00	232,00	757,00	199,00	290,00	385,00
Porto de Mós	768,00	492,00	726,00	436,80	1 518,00	1 572,00	906,00	3 082,00	432,60	3 072,00	2 106,00	558,60	830,00	3 024,00	5 082,00	1 116,00	1 068,00	1 614,00	918,00	2 886,00	1 998,00	6 492,00	3 186,00	210,60	560,40	5 400,00	520,20	1 206,00	2 814,00
Póvoa de Varzim	714,00	580,00	254,00	610,00	848,00	62,40	760,00	1 102,00	574,00	562,00	510,00	586,00	224,00	580,00	1 526,00	262,00	145,20	494,00	764,00	1 286,00	1 116,00	2 066,00	1 326,00	512,00	616,00	1 908,00	632,00	84,60	714,00
Redondo	326,00	398,00	560,00	372,00	328,00	842,00	312,00	1 218,00	402,00	1 340,00	742,00	274,00	606,00	1 458,00	1 722,00	688,00	666,00	596,00	274,00	532,00	428,00	1 982,00	948,00	326,00	420,00	1 684,00	360,00	718,00	940,00
Reguengos de Monsaraz	972,00	1 188,00	2 184,00	1 104,00	816,00	3 030,00	924,00	3 738,00	1 200,00	4 524,00	2 394,00	990,00	2 322,00	4 476,00	5 298,00	2 568,00	2 502,00	1 950,00	816,00	1 428,00	1 224,00	6 030,00	2 934,00	1 482,00	1 248,00	4 758,00	1 074,00	2 658,00	2 952,00
Rio Maior	184,60	84,40	300,00	73,80	554,00	582,00	230,00	1 316,00	77,40	1 082,00	732,00	234,00	338,00	1 066,00	1 740,00	474,00	446,00	586,00	234,00	890,00	594,00	2 210,00	1 110,00	124,00	116,40	1 848,00	101,60	460,00	958,00
Santa Comba Dão	530,00	396,00	73,00	426,00	664,00	382,00	576,00	1 016,00	390,00	894,00	422,00	402,00	148,00	770,00	1 440,00	132,80	250,00	260,00	580,00	1 158,00	932,00	1 972,00	972,00	328,00	440,00	1 674,00	448,00	260,00	658,00
Santarém	1 387,50	1 81,50	2 475,00	408,00	3 945,00	4 590,00	1 650,00	9 660,00	202,50	8 325,00	5 295,00	1 545,00	8 205,00	12 855,00	3 435,00	3 270,00	4 185,00	1 770,00	6 450,00	4 215,00	16 380,00	8 130,00	726,00	1 315,50	13 650,00	765,00	3 660,00	6 990,00	603,00
São João da Pesqueira	1 239,00	948,00	570,00	1 083,00	1 116,00	552,00	1 308,00	1 066,00																					

ANEXO G

Neste anexo são apresentados os concelhos alocados às localizações ótimas dos problemas de PL, para o Serviço_LAS.

Problema base

Tabela G 1 - Concelhos alocados às localizações ótimas do problema de PL base (Serviço_LAS)

Concelhos/províncias alocados a Azambuja		Concelhos/províncias alocados a Torres Vedras
Águeda	Moimenta da Beira	Almada
Albacete	Montemor-o-Novo	Arruda dos Vinhos
Albergaria-a-Velha	Montijo	Aveiro
Alcobaça	Mortágua	Barcelos
Alenquer	Moura	Bombarral
Alijó	Mourão	Cadaval
Almeirim	Navarra	Cantanhede
Alpiarça	Oliveira do Bairro	Ílhavo
Anadia	Oliveira do Hospital	Leiria
Arraiolos	Ourense	Loures
Astúrias	Paços de Ferreira	Lourinhã
Avis	Palmela	Mafra
Azambuja	Paredes	Montemor-o-Velho
Badajoz	Penafiel	Oliveira de Frades
Barcelona	Penamacor	Ovar
Barreiro	Pinhel	Peniche
Batalha	Pombal	São João da Pesqueira
Beja	Ponte de Lima	Sevilha
Benavente	Ponte de Sor	Sintra
Borba	Portalegre	Sobral de Monte Agraço
Burgos	Porto de Mós	Torres Vedras
Cáceres	Póvoa de Varzim	Valência
Cartaxo	Redondo	
Celorico de Basto	Reguengos de Monsaraz	
Cidade Real	Rio Maior	
Coimbra	Santa Comba Dão	
Córdoba	Santarém	
Corunha	Saragoça	
Cuba	Segóvia	
Entroncamento	Serpa	
Estremoz	Setúbal	
Faro	Silves	
Ferreira do Alentejo	Sines	
Figueira da Foz	Sousel	
Figueira de Castelo Rodrigo	Tarragona	
Figueiras	Toledo	
Freixo de Espada à Cinta	Tomar	
Gavião	Torres Novas	
Góis	Trofa	
Golegã	Valladolid	
Guadalajara	Vidigueira	
Lérida	Vila do Conde	

Concelhos/províncias alocados a Azambuja	Concelhos/províncias alocados a Torres Vedras
Lisboa	Vila Franca de Xira
Lugo	Vila Nova de Famalicão
Maia	Vila Nova de Gaia
Mangualde	Vila Nova de Poiares
Miranda do Corvo	Vila Real
Mogadouro	Zamora

Abordagem 1: Introdução dos custos das deslocações dos motoristas

Tabela G 2 - Concelhos alocados às localizações ótimas do problema de PL da abordagem ‘Introdução dos custos de deslocação dos motoristas’ (Serviço_LAS)

Concelhos/províncias alocados a Azambuja	Concelhos/províncias alocados a Torres Vedras	
Azambuja	Águeda	Moimenta da Beira
Badajoz	Albacete	Montemor-o-Novo
Gavião	Albergaria-a-Velha	Montemor-o-Velho
Vila Franca de Xira	Alcobaça	Montijo
	Alenquer	Mortágua
	Alijó	Moura
	Almada	Mourão
	Almeirim	Navarra
	Alpiarça	Oliveira de Frades
	Anadia	Oliveira do Bairro
	Arraiolos	Oliveira do Hospital
	Arruda dos Vinhos	Ourense
	Astúrias	Ovar
	Aveiro	Paços de Ferreira
	Avis	Palmela
	Barcelona	Paredes
	Barcelos	Penafiel
	Barreiro	Penamacor
	Batalha	Peniche
	Beja	Pinhel
	Benavente	Pombal
	Bombarral	Ponte de Lima
	Borba	Ponte de Sor
	Burgos	Portalegre
	Cáceres	Porto de Mós
	Cadaval	Póvoa de Varzim
	Cantanhede	Redondo
	Cartaxo	Reguengos de Monsaraz
	Celorico de Basto	Rio Maior
	Cidade Real	Santa Comba Dão
	Coimbra	Santarém
	Córdoba	São João da Pesqueira
	Corunha	Saragoça
	Cuba	Segóvia
	Entroncamento	Serpa
	Estremoz	Setúbal
	Faro	Sevilha
	Ferreira do Alentejo	Silves

Concelhos/províncias alocados a Azambuja	Concelhos/províncias alocados a Torres Vedras	
	Figueira da Foz	Sines
	Figueira de Castelo Rodrigo	Sintra
	Figueiras	Sobral de Monte Agraço
	Freixo de Espada à Cinta	Sousel
	Góis	Tarragona
	Golegã	Toledo
	Guadalajara	Tomar
	Ílhavo	Torres Novas
	Leiria	Torres Vedras
	Lérida	Trofa
	Lisboa	Valência
	Loures	Valladolid
	Lourinhã	Vidigueira
	Lugo	Vila do Conde
	Mafra	Vila Nova de Famalicão
	Maia	Vila Nova de Gaia
	Mangualde	Vila Nova de Poiares
	Miranda do Corvo	Vila Real
	Mogadouro	Zamora

Abordagem 4: Forçar o problema a abrir mais uma instalação

Tabela G 3 - Concelhos alocados às localizações ótimas do problema de PL da abordagem ‘Forçar o problema a abrir mais uma instalação’ (Serviço_LAS)

Concelhos/províncias alocados a Azambuja	Concelhos/províncias alocados a Torres Vedras		Concelhos/províncias alocados a Gavião
Alcobaça	Águeda	Moura	Almada
Alenquer	Albacete	Mourão	Arruda dos Vinhos
Almeirim	Albergaria-a-Velha	Navarra	Bombarral
Alpiarça	Aljón	Oliveira de Frades	Cadaval
Azambuja	Anadia	Oliveira do Bairro	Leiria
Barreiro	Arraiolos	Oliveira do Hospital	Loures
Batalha	Astúrias	Ourense	Lourinhã
Beja	Aveiro	Ovar	Mafra
Benavente	Avis	Paços de Ferreira	Montemor-o-Velho
Cartaxo	Badajoz	Paredes	Peniche
Corunha	Barcelona	Penafiel	Sintra
Faro	Barcelos	Penamacor	Sobral de Monte Agraço
Ferreira do Alentejo	Borba	Pinhel	Torres Vedras
Figueira da Foz	Burgos	Ponte de Lima	
Lisboa	Cáceres	Ponte de Sor	
Montijo	Cantanhede	Portalegre	
Palmela	Celorico de Basto	Póvoa de Varzim	
Pombal	Cidade Real	Redondo	
Porto de Mós	Coimbra	Reguengos de Monsaraz	
Rio Maior	Córdoba	Santa Comba Dão	
Santarém	Cuba	São João da Pesqueira	
Serpa	Entroncamento	Saragoça	
Setúbal	Estremoz	Segóvia	
Silves	Figueira de Castelo Rodrigo	Sevilha	

Concelhos/províncias alocados a Azambuja	Concelhos/províncias alocados a Torres Vedras	Concelhos/províncias alocados a Gavião
Sines	Figueiras	Sousel
Vila Franca de Xira	Freixo de Espada à Cinta	Tarragona
	Gavião	Toledo
	Góis	Tomar
	Golegã	Torres Novas
	Guadalajara	Trofa
	Ílhavo	Valência
	Lérida	Valladolid
	Lugo	Vidigueira
	Maia	Vila do Conde
	Mangualde	Vila Nova de Famalicão
	Miranda do Corvo	Vila Nova de Gaia
	Mogadouro	Vila Nova de Poiares
	Moimenta da Beira	Vila Real
	Montemor-o-Novo	Zamora
	Mortágua	

Abordagem 5: Liquidação de uma instalação atual

Tabela G 4 - Concelhos alocados às localizações ótimas do problema de PL da abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’ (Serviço_LAS) – base de Torres Vedras fechada

Concelhos/províncias alocados a Azambuja	Concelhos/províncias alocados a Gavião
Alcobaça	Águeda
Alenquer	Albacete
Almada	Albergaria-a-Velha
Almeirim	Alijó
Alpiarça	Anadia
Arruda dos Vinhos	Arraiolos
Azambuja	Astúrias
Barreiro	Aveiro
Batalha	Avis
Beja	Badajoz
Benavente	Barcelona
Bombarral	Barcelos
Cadaval	Borba
Cartaxo	Burgos
Corunha	Cáceres
Faro	Cantanhede
Ferreira do Alentejo	Celorico de Basto
Figueira da Foz	Cidade Real
Leiria	Coimbra
Lisboa	Córdoba
Loures	Cuba
Lourinhã	Entroncamento
Mafra	Estremoz
Montijo	Figueira de Castelo Rodrigo
Palmela	Figueiras
Peniche	Freixo de Espada à Cinta
	Sousel

Concelhos/províncias alocados a Azambuja	Concelhos/províncias alocados a Gavião	
Pombal	Gavião	Tarragona
Porto de Mós	Góis	Toledo
Rio Maior	Golegã	Tomar
Santarém	Guadalajara	Torres Novas
Serpa	Ílhavo	Trofa
Setúbal	Lérida	Valência
Silves	Lugo	Valladolid
Sines	Maia	Vidigueira
Sintra	Mangualde	Vila do Conde
Sobral de Monte Agraço	Miranda do Corvo	Vila Nova de Famalicão
Torres Vedras	Mogadouro	Vila Nova de Gaia
Vila Franca de Xira	Moimenta da Beira	Vila Nova de Poiares
	Montemor-o-Novo	Vila Real
	Montemor-o-Velho	Zamora

Tabela G 5 - Concelhos alocados às localizações ótimas da abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’ (Serviço_LAS) – base da Azambuja fechada

Concelhos/províncias alocados a Torres Vedras	Concelhos/províncias alocados a Gavião	
Alcobaça	Águeda	Mortágua
Alenquer	Albacete	Moura
Almada	Albergaria-a-Velha	Mourão
Arruda dos Vinhos	Aljón	Navarra
Azambuja	Almeirim	Oliveira de Frades
Barreiro	Alpiarça	Oliveira do Bairro
Batalha	Anadia	Oliveira do Hospital
Benavente	Arraiolos	Ourense
Bombarral	Astúrias	Ovar
Cadaval	Aveiro	Paços de Ferreira
Cartaxo	Avis	Paredes
Faro	Badajoz	Penafiel
Figueira da Foz	Barcelona	Penamacor
Leiria	Barcelos	Pinhel
Lisboa	Beja	Pombal
Loures	Borba	Ponte de Lima
Lourinhã	Burgos	Ponte de Sor
Mafra	Cáceres	Portalegre
Montemor-o-Velho	Cantanhede	Porto de Mós
Montijo	Celorico de Basto	Póvoa de Varzim
Palmela	Cidade Real	Redondo
Peniche	Coimbra	Reguengos de Monsaraz
Rio Maior	Córdoba	Santa Comba Dão
Santarém	Corunha	São João da Pesqueira
Setúbal	Cuba	Saragoça
Silves	Entroncamento	Segóvia
Sines	Estremoz	Serpa
Sintra	Ferreira do Alentejo	Sevilha
Sobral de Monte Agraço	Figueira de Castelo Rodrigo	Sousel
Torres Vedras	Figueiras	Tarragona
Vila Franca de Xira	Freixo de Espada à Cinta	Toledo

Concelhos/províncias alocados a Torres Vedras	Concelhos/províncias alocados a Gavião	
	Gavião	Tomar
	Góis	Torres Novas
	Golegã	Trofa
	Guadalajara	Valência
	Ílhavo	Valladolid
	Lérida	Vidigueira
	Lugo	Vila do Conde
	Maia	Vila Nova de Famalicão
	Mangualde	Vila Nova de Gaia
	Miranda do Corvo	Vila Nova de Poiares
	Mogadouro	Vila Real
	Moimenta da Beira	Zamora
	Montemor-o-Novo	Mortágua

ANEXO H

Este anexo destina-se à apresentação da procura determinada para cada cenário para o Serviço_LAS.

Tabela H 1 - Procura de cada cenário, e respetiva variação face ao cenário 'Procura mantém-se', para o Serviço_LAS

Concelho / Província	Cenário						Variação da procura face ao cenário 'Procura mantém-se' (b)				
	Procura mantém-se' (a)	'Crescimento da procura em 2020' (a)	'Decréscimo da procura em 2020' (a)	'Pandemia TPD_TV' (a)	'Otimista' (a)	'Pessimista' (a)	'Crescimento da procura em 2020'	'Decréscimo da procura em 2020'	'Pandemia TPD_TV'	'Otimista'	'Pessimista'
Águeda	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Albacete	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Albergaria-a-Velha	4,00	5,60	4,00	4,00	5,60	5,60	40,00	0,00	0,00	40,00	40,00
Alcobaça	4,00	4,00	4,00	4,00	5,04	2,00	0,00	0,00	0,00	26,00	-50,00
Alenquer	25,00	25,60	25,00	19,50	25,36	23,50	2,40	0,00	-22,00	1,44	-6,00
Alijó	2,00	2,00	2,00	1,00	2,52	1,00	0,00	0,00	-50,00	26,00	-50,00
Almada	156,00	187,20	156,00	151,40	190,80	157,80	20,00	0,00	-2,95	22,31	1,15
Almeirim	19,00	19,00	19,00	13,00	20,30	10,50	0,00	0,00	-31,58	6,84	-44,74
Alpiarça	24,00	24,00	24,00	24,00	30,24	12,00	0,00	0,00	0,00	26,00	-50,00
Anadia	32,00	32,00	32,00	32,00	39,54	17,50	0,00	0,00	0,00	23,56	-45,31
Arraiolos	2,00	2,00	1,40	1,00	1,84	1,00	0,00	-30,00	-50,00	-8,00	-50,00
Arruda dos Vinhos	12,00	12,00	12,00	12,00	11,04	6,00	0,00	0,00	0,00	-8,00	-50,00
Astúrias	2,00	2,00	2,00	1,80	2,00	0,80	0,00	0,00	-10,00	0,00	-60,00
Aveiro	4,00	5,50	4,00	4,00	5,50	5,20	37,50	0,00	0,00	37,50	30,00
Avis	7,00	9,80	7,00	7,00	9,80	9,80	40,00	0,00	0,00	40,00	40,00
Azambuja	80,00	102,20	80,00	80,00	101,72	77,00	27,75	0,00	0,00	27,15	-3,75
Badajoz	21,00	22,80	21,00	20,90	26,44	13,40	8,57	0,00	-0,48	25,90	-36,19
Barcelona	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Barcelos	26,00	26,00	26,00	26,00	32,76	13,00	0,00	0,00	0,00	26,00	-50,00
Barreiro	89,00	124,60	89,00	89,00	124,60	124,60	40,00	0,00	0,00	40,00	40,00
Batalha	3,00	3,00	3,00	3,00	3,90	2,55	0,00	0,00	0,00	30,00	-15,00
Beja	8,00	9,60	5,60	4,00	9,60	9,60	20,00	-30,00	-50,00	20,00	20,00
Benavente	2,00	2,60	2,00	2,00	2,60	2,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
Bombarral	13,00	13,00	13,00	6,50	16,38	6,50	0,00	0,00	-50,00	26,00	-50,00
Borba	1,00	1,00	0,70	0,50	1,00	1,00	0,00	-30,00	-50,00	0,00	0,00
Burgos	3,00	3,00	3,00	2,70	3,00	1,20	0,00	0,00	-10,00	0,00	-60,00

Concelho / Província	Cenário						Variação da procura face ao cenário 'Procura mantém-se' (b)				
	Procura mantém-se' (a)	'Crescimento da procura em 2020' (a)	'Crescimento da procura em 2020' (a)	'Crescimento da procura em 2020' (a)	'Crescimento da procura em 2020' (a)	'Crescimento da procura em 2020' (a)	'Crescimento da procura em 2020'	'Decréscimo da procura em 2020'	'Pandemia TPD_TV'	'Otimista'	'Pessimista'
Cáceres	5,00	6,50	5,00	5,00	6,50	5,00	30,00	0,00	0,00	30,00	0,00
Cadaval	18,00	18,00	18,00	9,00	16,56	9,00	0,00	0,00	-50,00	-8,00	-50,00
Cantanhede	4,00	4,00	4,00	4,00	5,04	2,50	0,00	0,00	0,00	26,00	-37,50
Cartaxo	23,00	23,00	23,00	23,00	25,86	17,50	0,00	0,00	0,00	12,43	-23,91
Celorico de Basto	1,00	1,00	1,00	1,00	1,30	0,85	0,00	0,00	0,00	30,00	-15,00
Cidade Real	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coimbra	5,00	5,00	5,00	5,00	6,50	4,25	0,00	0,00	0,00	30,00	-15,00
Córdoba	1,00	1,00	1,00	1,00	1,30	0,85	0,00	0,00	0,00	30,00	-15,00
Corunha	9,00	10,20	9,00	8,40	10,20	6,60	13,33	0,00	-6,67	13,33	-26,67
Cuba	3,00	3,00	2,10	1,50	2,84	2,00	0,00	-30,00	-50,00	-5,33	-33,33
Entroncamento	15,00	15,00	15,00	15,00	18,90	7,50	0,00	0,00	0,00	26,00	-50,00
Estremoz	26,00	26,00	19,70	15,50	25,76	24,50	0,00	-24,23	-40,38	-0,92	-5,77
Faro	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	0,00	0,00	-40,00	0,00	-40,00
Ferreira do Alentejo	5,00	7,00	3,50	2,50	7,00	7,00	40,00	-30,00	-50,00	40,00	40,00
Figueira da Foz	12,00	15,20	12,00	12,00	16,10	14,75	26,67	0,00	0,00	34,17	22,92
Figueira de Castelo Rodrigo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,26	0,50	0,00	0,00	0,00	26,00	-50,00
Figueiras	2,00	2,00	2,00	2,00	2,52	1,00	0,00	0,00	0,00	26,00	-50,00
Freixo de Espada à Cinta	5,00	5,00	5,00	5,00	6,30	2,50	0,00	0,00	0,00	26,00	-50,00
Gavião	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Góis	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	0,00	0,00	-40,00	0,00	-40,00
Golegã	7,00	9,80	7,00	7,00	9,80	9,80	40,00	0,00	0,00	40,00	40,00
Guadalajara	2,00	2,00	2,00	1,80	2,00	0,80	0,00	0,00	-10,00	0,00	-60,00
Ílhavo	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Leiria	1,00	1,40	1,00	1,00	1,40	1,40	40,00	0,00	0,00	40,00	40,00
Lérída	1,00	1,00	1,00	0,90	1,00	0,40	0,00	0,00	-10,00	0,00	-60,00
Lisboa	30,00	30,00	30,00	29,90	35,40	26,70	0,00	0,00	-0,33	18,00	-11,00
Loures	10,00	10,00	10,00	10,00	10,60	9,70	0,00	0,00	0,00	6,00	-3,00
Lourinhã	37,00	37,00	37,00	37,00	34,04	19,20	0,00	0,00	0,00	-8,00	-48,11
Lugo	4,00	4,00	4,00	3,60	4,00	1,60	0,00	0,00	-10,00	0,00	-60,00
Mafra	1,00	1,40	1,00	1,00	1,40	1,40	40,00	0,00	0,00	40,00	40,00
Maia	1,00	1,00	1,00	1,00	1,26	0,50	0,00	0,00	0,00	26,00	-50,00
Mangualde	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Miranda do Corvo	2,00	2,00	2,00	2,00	2,60	1,70	0,00	0,00	0,00	30,00	-15,00
Mogadouro	1,00	1,00	1,00	1,00	1,26	0,50	0,00	0,00	0,00	26,00	-50,00

Concelho / Província	Cenário						Variação da procura face ao cenário 'Procura mantém-se' (b)				
	Procura mantém-se' (a)	'Crescimento da procura em 2020' (a)	'Crescimento da procura em 2020' (a)	'Crescimento da procura em 2020' (a)	'Crescimento da procura em 2020' (a)	'Crescimento da procura em 2020' (a)	'Crescimento da procura em 2020'	'Decréscimo da procura em 2020'	'Pandemia TPD_TV'	'Otimista'	'Pessimista'
Moimenta da Beira	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Montemor-o-Novo	1,00	1,00	0,70	0,50	1,00	1,00	0,00	-30,00	-50,00	0,00	0,00
Montemor-o-Velho	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Montijo	7,00	7,00	7,00	7,00	6,68	7,00	0,00	0,00	0,00	-4,57	0,00
Mortágua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Moura	6,00	7,60	4,50	3,50	7,90	7,45	26,67	-25,00	-41,67	31,67	24,17
Mourão	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Navarra	5,00	5,00	5,00	4,50	5,00	2,00	0,00	0,00	-10,00	0,00	-60,00
Oliveira de Frades	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Oliveira do Bairro	5,00	5,80	5,00	5,00	6,70	5,35	16,00	0,00	0,00	34,00	7,00
Oliveira do Hospital	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ourense	4,00	4,00	4,00	4,00	4,60	3,70	0,00	0,00	0,00	15,00	-7,50
Ovar	20,00	20,80	20,00	20,00	20,80	20,30	4,00	0,00	0,00	4,00	1,50
Paços de Ferreira	2,00	2,80	2,00	2,00	2,80	2,80	40,00	0,00	0,00	40,00	40,00
Palmela	3,00	3,00	3,00	3,00	2,76	2,50	0,00	0,00	0,00	-8,00	-16,67
Paredes	4,00	4,00	4,00	4,00	5,60	3,40	0,00	0,00	0,00	40,00	-15,00
Penafiel	1,00	1,00	1,00	1,00	1,26	0,50	0,00	0,00	0,00	26,00	-50,00
Penamacor	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Peniche	15,00	16,60	15,00	15,00	16,60	16,10	10,67	0,00	0,00	10,67	7,33
Pinhel	7,00	7,00	7,00	7,00	7,78	5,50	0,00	0,00	0,00	11,14	-21,43
Pombal	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ponte de Lima	1,00	1,00	1,00	1,00	1,26	0,50	0,00	0,00	0,00	26,00	-50,00
Ponte de Sor	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Portalegre	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Porto de Mós	6,00	6,00	6,00	6,00	7,56	3,00	0,00	0,00	0,00	26,00	-50,00
Póvoa de Varzim	2,00	2,40	2,00	2,00	2,70	2,25	20,00	0,00	0,00	35,00	12,50
Redondo	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Reguengos de Monsaraz	6,00	6,00	4,80	4,00	6,60	5,70	0,00	-20,00	-33,33	10,00	-5,00
Rio Maior	2,00	2,40	2,00	2,00	2,70	2,25	20,00	0,00	0,00	35,00	12,50
Santa Comba Dão	2,00	2,00	2,00	2,00	2,52	1,00	0,00	0,00	0,00	26,00	-50,00
Santarém	15,00	20,60	15,00	15,00	20,86	20,10	37,33	0,00	0,00	39,07	34,00
São João da Pesqueira	3,00	3,00	3,00	3,00	3,78	1,50	0,00	0,00	0,00	26,00	-50,00
Saragoça	1,00	1,00	1,00	0,90	1,00	0,40	0,00	0,00	-10,00	0,00	-60,00
Segóvia	2,00	2,00	2,00	1,80	2,00	0,80	0,00	0,00	-10,00	0,00	-60,00

Concelho / Província	Cenário						Variação da procura face ao cenário 'Procura mantém-se' (b)				
	Procura mantém-se' (a)	'Crescimento da procura em 2020' (a)	'Decréscimo da procura em 2020' (a)	'Pandemia TPD_TV' (a)	'Otimista' (a)	'Pessimista' (a)	'Crescimento da procura em 2020'	'Decréscimo da procura em 2020'	'Pandemia TPD_TV'	'Otimista'	'Pessimista'
Serpa	3,00	3,40	2,10	1,50	3,40	3,40	13,33	-30,00	-50,00	13,33	13,33
Setúbal	31,00	31,00	31,00	31,00	30,28	26,50	0,00	0,00	0,00	-2,32	-14,52
Sevilha	26,00	33,20	26,00	25,20	33,20	22,80	27,69	0,00	-3,08	27,69	-12,31
Silves	42,00	42,00	42,00	21,00	42,00	21,00	0,00	0,00	-50,00	0,00	-50,00
Sines	2,00	2,00	2,00	2,00	2,30	1,85	0,00	0,00	0,00	15,00	-7,50
Sintra	18,00	25,20	18,00	18,00	25,20	25,20	40,00	0,00	0,00	40,00	40,00
Sobral de Monte Agraço	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sousel	2,00	2,80	2,00	2,00	2,80	2,80	40,00	0,00	0,00	40,00	40,00
Tarragona	2,00	2,00	2,00	1,80	2,00	0,80	0,00	0,00	-10,00	0,00	-60,00
Toledo	4,00	4,00	4,00	3,60	4,00	1,60	0,00	0,00	-10,00	0,00	-60,00
Tomar	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torres Novas	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torres Vedras	237,00	237,00	194,20	219,40	244,40	125,00	0,00	-18,06	-7,43	3,12	-47,26
Trofa	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valência	3,00	3,00	3,00	2,90	3,00	2,40	0,00	0,00	-3,33	0,00	-20,00
Valladolid	3,00	3,00	3,00	2,70	3,00	1,20	0,00	0,00	-10,00	0,00	-60,00
Vidigueira	8,00	8,40	5,60	4,00	8,00	5,90	5,00	-30,00	-50,00	0,00	-26,25
Vila do Conde	2,00	2,00	2,00	2,00	2,60	1,70	0,00	0,00	0,00	30,00	-15,00
Vila Franca de Xira	62,00	62,00	62,00	54,10	68,90	39,15	0,00	0,00	-12,74	11,13	-36,85
Vila Nova de Famalicão	2,00	2,80	2,00	2,00	2,80	2,80	40,00	0,00	0,00	40,00	40,00
Vila Nova de Gaia	14,00	15,20	14,00	14,00	18,06	9,70	8,57	0,00	0,00	29,00	-30,71
Vila Nova de Poiares	3,00	3,00	3,00	3,00	3,90	2,55	0,00	0,00	0,00	30,00	-15,00
Vila Real	1,00	1,00	1,00	0,50	1,26	0,50	0,00	0,00	-50,00	26,00	-50,00
Zamora	16,00	16,00	16,00	14,40	16,00	6,40	0,00	0,00	-10,00	0,00	-60,00

(a) Viagens/ano

(b) (%)

ANEXO I

Este anexo destina-se à apresentação da análise de sensibilidade realizada ao coeficiente α , na aplicação do critério de Hurwicz da abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual.

Tabela I 1 - Análise de sensibilidade do coeficiente α (Serviço_LAS)

a	Custo mínimo (€)		(1-a)	Custo máximo (€)		H (€)		H mínimo (€)	Decisão
	Azambuja (38), Gavião (80)	Gavião (87), Torres Vedras (31)		Azambuja (38), Gavião (80)	Gavião (87), Torres Vedras (31)	Azambuja (38), Gavião (80)	Gavião (87), Torres Vedras (31)		
0,00	0,00	0,00	1,00	1 334 737,97	1 331 024,60	1 334 737,97	1 331 024,60	1 331 024,60	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,01	12 717,73	12 726,03	0,99	1 321 390,59	1 317 714,36	1 334 108,32	1 330 440,38	1 330 440,38	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,02	25 435,45	25 452,05	0,98	1 308 043,21	1 304 404,11	1 333 478,66	1 329 856,16	1 329 856,16	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,03	38 153,18	38 178,08	0,97	1 294 695,83	1 291 093,87	1 332 849,01	1 329 271,94	1 329 271,94	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,04	50 870,90	50 904,10	0,96	1 281 348,45	1 277 783,62	1 332 219,36	1 328 687,72	1 328 687,72	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,05	63 588,63	63 630,13	0,95	1 268 001,07	1 264 473,37	1 331 589,70	1 328 103,51	1 328 103,51	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,06	76 306,35	76 356,16	0,94	1 254 653,69	1 251 163,13	1 330 960,05	1 327 519,29	1 327 519,29	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,07	89 024,08	89 082,18	0,93	1 241 306,31	1 237 852,88	1 330 330,39	1 326 935,07	1 326 935,07	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,08	101 741,80	101 808,21	0,92	1 227 958,93	1 224 542,64	1 329 700,74	1 326 350,85	1 326 350,85	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,09	114 459,53	114 534,24	0,91	1 214 611,55	1 211 232,39	1 329 071,08	1 325 766,63	1 325 766,63	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,10	127 177,26	127 260,26	0,90	1 201 264,17	1 197 922,14	1 328 441,43	1 325 182,41	1 325 182,41	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,11	139 894,98	139 986,29	0,89	1 187 916,79	1 184 611,90	1 327 811,78	1 324 598,19	1 324 598,19	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,12	152 612,71	152 712,31	0,88	1 174 569,42	1 171 301,65	1 327 182,12	1 324 013,97	1 324 013,97	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,13	165 330,43	165 438,34	0,87	1 161 222,04	1 157 991,41	1 326 552,47	1 323 429,75	1 323 429,75	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,14	178 048,16	178 164,37	0,86	1 147 874,66	1 144 681,16	1 325 922,81	1 322 845,53	1 322 845,53	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,15	190 765,88	190 890,39	0,85	1 134 527,28	1 131 370,91	1 325 293,16	1 322 261,31	1 322 261,31	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,16	203 483,61	203 616,42	0,84	1 121 179,90	1 118 060,67	1 324 663,50	1 321 677,09	1 321 677,09	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,17	216 201,33	216 342,44	0,83	1 107 832,52	1 104 750,42	1 324 033,85	1 321 092,87	1 321 092,87	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,18	228 919,06	229 068,47	0,82	1 094 485,14	1 091 440,18	1 323 404,20	1 320 508,65	1 320 508,65	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,19	241 636,79	241 794,50	0,81	1 081 137,76	1 078 129,93	1 322 774,54	1 319 924,43	1 319 924,43	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,20	254 354,51	254 520,52	0,80	1 067 790,38	1 064 819,68	1 322 144,89	1 319 340,21	1 319 340,21	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,21	267 072,24	267 246,55	0,79	1 054 443,00	1 051 509,44	1 321 515,23	1 318 755,99	1 318 755,99	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,22	279 789,96	279 972,58	0,78	1 041 095,62	1 038 199,19	1 320 885,58	1 318 171,77	1 318 171,77	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,23	292 507,69	292 698,60	0,77	1 027 748,24	1 024 888,95	1 320 255,93	1 317 587,55	1 317 587,55	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,24	305 225,41	305 424,63	0,76	1 014 400,86	1 011 578,70	1 319 626,27	1 317 003,33	1 317 003,33	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,25	317 943,14	318 150,65	0,75	1 001 053,48	998 268,45	1 318 996,62	1 316 419,11	1 316 419,11	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,26	330 660,86	330 876,68	0,74	987 706,10	984 958,21	1 318 366,96	1 315 834,89	1 315 834,89	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,27	343 378,59	343 602,71	0,73	974 358,72	971 647,96	1 317 737,31	1 315 250,67	1 315 250,67	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,28	356 096,32	356 328,73	0,72	961 011,34	958 337,72	1 317 107,65	1 314 666,45	1 314 666,45	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,29	368 814,04	369 054,76	0,71	947 663,96	945 027,47	1 316 478,00	1 314 082,23	1 314 082,23	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,30	381 531,77	381 780,78	0,70	934 316,58	931 717,22	1 315 848,35	1 313 498,01	1 313 498,01	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,31	394 249,49	394 506,81	0,69	920 969,20	918 406,98	1 315 218,69	1 312 913,79	1 312 913,79	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,32	406 967,22	407 232,84	0,68	907 621,82	905 096,73	1 314 589,04	1 312 329,57	1 312 329,57	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,33	419 684,94	419 958,86	0,67	894 274,44	891 786,49	1 313 959,38	1 311 745,35	1 311 745,35	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,34	432 402,67	432 684,89	0,66	880 927,06	878 476,24	1 313 329,73	1 311 161,13	1 311 161,13	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,35	445 120,39	445 410,92	0,65	867 579,68	865 165,99	1 312 700,08	1 310 576,91	1 310 576,91	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,36	457 838,12	458 136,94	0,64	854 232,30	851 855,75	1 312 070,42	1 309 992,69	1 309 992,69	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,37	470 555,85	470 862,97	0,63	840 884,92	838 545,50	1 311 440,77	1 309 408,47	1 309 408,47	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,38	483 273,57	483 588,99	0,62	827 537,54	825 235,25	1 310 811,11	1 308 824,25	1 308 824,25	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,39	495 991,30	496 315,02	0,61	814 190,16	811 925,01	1 310 181,46	1 308 240,03	1 308 240,03	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,40	508 709,02	509 041,05	0,60	800 842,78	798 614,76	1 309 551,80	1 307 655,81	1 307 655,81	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,41	521 426,75	521 767,07	0,59	787 495,40	785 304,52	1 308 922,15	1 307 071,59	1 307 071,59	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,42	534 144,47	534 493,10	0,58	774 148,02	771 994,27	1 308 292,50	1 306 487,37	1 306 487,37	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,43	546 862,20	547 219,13	0,57	760 800,64	758 684,02	1 307 662,84	1 305 903,15	1 305 903,15	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,44	559 579,92	559 945,15	0,56	747 453,26	745 373,78	1 307 033,19	1 305 318,93	1 305 318,93	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,45	572 297,65	572 671,18	0,55	734 105,88	732 063,53	1 306 403,53	1 304 734,71	1 304 734,71	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,46	585 015,37	585 397,20	0,54	720 758,50	718 753,29	1 305 773,88	1 304 150,49	1 304 150,49	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,47	597 733,10	598 123,23	0,53	707 411,13	705 443,04	1 305 144,23	1 303 566,27	1 303 566,27	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,48	610 450,83	610 849,26	0,52	694 063,75	692 132,79	1 304 514,57	1 302 982,05	1 302 982,05	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,49	623 168,55	623 575,28	0,51	680 716,37	678 822,55	1 303 884,92	1 302 397,83	1 302 397,83	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,50	635 886,28	636 301,31	0,50	667 368,99	665 512,30	1 303 255,26	1 301 813,61	1 301 813,61	Gavião (87), Torres Vedras (31)

a	Custo mínimo (€)		(1-a)	Custo máximo (€)		H (€)		H mínimo (€)	Decisão
	Azambuja (38), Gavião (80)	Gavião (87), Torres Vedras (31)		Azambuja (38), Gavião (80)	Gavião (87), Torres Vedras (31)	Azambuja (38), Gavião (80)	Gavião (87), Torres Vedras (31)		
0,51	648 604,00	649 027,33	0,49	654 021,61	652 202,06	1 302 625,61	1 301 229,39	1 301 229,39	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,52	661 321,73	661 753,36	0,48	640 674,23	638 891,81	1 301 995,95	1 300 645,17	1 300 645,17	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,53	674 039,45	674 479,39	0,47	627 326,85	625 581,56	1 301 366,30	1 300 060,95	1 300 060,95	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,54	686 757,18	687 205,41	0,46	613 979,47	612 271,32	1 300 736,65	1 299 476,73	1 299 476,73	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,55	699 474,90	699 931,44	0,45	600 632,09	598 961,07	1 300 106,99	1 298 892,51	1 298 892,51	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,56	712 192,63	712 657,47	0,44	587 284,71	585 650,83	1 299 477,34	1 298 308,29	1 298 308,29	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,57	724 910,36	725 383,49	0,43	573 937,33	572 340,58	1 298 847,68	1 297 724,07	1 297 724,07	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,58	737 628,08	738 109,52	0,42	560 589,95	559 030,33	1 298 218,03	1 297 139,85	1 297 139,85	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,59	750 345,81	750 835,54	0,41	547 242,57	545 720,09	1 297 588,38	1 296 555,63	1 296 555,63	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,60	763 063,53	763 561,57	0,40	533 895,19	532 409,84	1 296 958,72	1 295 971,41	1 295 971,41	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,61	775 781,26	776 287,60	0,39	520 547,81	519 099,60	1 296 329,07	1 295 387,19	1 295 387,19	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,62	788 498,98	789 013,62	0,38	507 200,43	505 789,35	1 295 699,41	1 294 802,97	1 294 802,97	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,63	801 216,71	801 739,65	0,37	493 853,05	492 479,10	1 295 069,76	1 294 218,75	1 294 218,75	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,64	813 934,43	814 465,67	0,36	480 505,67	479 168,86	1 294 440,10	1 293 634,53	1 293 634,53	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,65	826 652,16	827 191,70	0,35	467 158,29	465 858,61	1 293 810,45	1 293 050,31	1 293 050,31	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,66	839 369,89	839 917,73	0,34	453 810,91	452 548,37	1 293 180,80	1 292 466,09	1 292 466,09	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,67	852 087,61	852 643,75	0,33	440 463,53	439 238,12	1 292 551,14	1 291 881,87	1 291 881,87	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,68	864 805,34	865 369,78	0,32	427 116,15	425 927,87	1 291 921,49	1 291 297,65	1 291 297,65	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,69	877 523,06	878 095,81	0,31	413 768,77	412 617,63	1 291 291,83	1 290 713,43	1 290 713,43	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,70	890 240,79	890 821,83	0,30	400 421,39	399 307,38	1 290 662,18	1 290 129,21	1 290 129,21	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,71	902 958,51	903 547,86	0,29	387 074,01	385 997,14	1 290 032,53	1 289 544,99	1 289 544,99	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,72	915 676,24	916 273,88	0,28	373 726,63	372 686,89	1 289 402,87	1 288 960,77	1 288 960,77	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,73	928 393,96	928 999,91	0,27	360 379,25	359 376,64	1 288 773,22	1 288 376,55	1 288 376,55	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,74	941 111,69	941 725,94	0,26	347 031,87	346 066,40	1 288 143,56	1 287 792,33	1 287 792,33	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,75	953 829,42	954 451,96	0,25	333 684,49	332 756,15	1 287 513,91	1 287 208,11	1 287 208,11	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,76	966 547,14	967 177,99	0,24	320 337,11	319 445,91	1 286 884,25	1 286 623,89	1 286 623,89	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,77	979 264,87	979 904,01	0,23	306 989,73	306 135,66	1 286 254,60	1 286 039,67	1 286 039,67	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,78	991 982,59	992 630,04	0,22	293 642,35	292 825,41	1 285 624,95	1 285 455,45	1 285 455,45	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,79	1 004 700,32	1 005 356,07	0,21	280 294,97	279 515,17	1 284 995,29	1 284 871,23	1 284 871,23	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,80	1 017 418,04	1 018 082,09	0,20	266 947,59	266 204,92	1 284 365,64	1 284 287,01	1 284 287,01	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,81	1 030 135,77	1 030 808,12	0,19	253 600,21	252 894,67	1 283 735,98	1 283 702,79	1 283 702,79	Gavião (87), Torres Vedras (31)
0,82	1 042 853,49	1 043 534,15	0,18	240 252,83	239 584,43	1 283 106,33	1 283 118,57	1 283 106,33	Azambuja (38), Gavião (80)
0,83	1 055 571,22	1 056 260,17	0,17	226 905,46	226 274,18	1 282 476,68	1 282 534,35	1 282 476,68	Azambuja (38), Gavião (80)
0,84	1 068 288,95	1 068 986,20	0,16	213 558,08	212 963,94	1 281 847,02	1 281 950,13	1 281 847,02	Azambuja (38), Gavião (80)
0,85	1 081 006,67	1 081 712,22	0,15	200 210,70	199 653,69	1 281 217,37	1 281 365,91	1 281 217,37	Azambuja (38), Gavião (80)
0,86	1 093 724,40	1 094 438,25	0,14	186 863,32	186 343,44	1 280 587,71	1 280 781,69	1 280 587,71	Azambuja (38), Gavião (80)
0,87	1 106 442,12	1 107 164,28	0,13	173 515,94	173 033,20	1 279 958,06	1 280 197,47	1 279 958,06	Azambuja (38), Gavião (80)
0,88	1 119 159,85	1 119 890,30	0,12	160 168,56	159 722,95	1 279 328,40	1 279 613,25	1 279 328,40	Azambuja (38), Gavião (80)
0,89	1 131 877,57	1 132 616,33	0,11	146 821,18	146 412,71	1 278 698,75	1 279 029,04	1 278 698,75	Azambuja (38), Gavião (80)
0,90	1 144 595,30	1 145 342,35	0,10	133 473,80	133 102,46	1 278 069,10	1 278 444,82	1 278 069,10	Azambuja (38), Gavião (80)
0,91	1 157 313,02	1 158 068,38	0,09	120 126,42	119 792,21	1 277 439,44	1 277 860,60	1 277 439,44	Azambuja (38), Gavião (80)
0,92	1 170 030,75	1 170 794,41	0,08	106 779,04	106 481,97	1 276 809,79	1 277 276,38	1 276 809,79	Azambuja (38), Gavião (80)
0,93	1 182 748,48	1 183 520,43	0,07	93 431,66	93 171,72	1 276 180,13	1 276 692,16	1 276 180,13	Azambuja (38), Gavião (80)
0,94	1 195 466,20	1 196 246,46	0,06	80 084,28	79 861,48	1 275 550,48	1 276 107,94	1 275 550,48	Azambuja (38), Gavião (80)
0,95	1 208 183,93	1 208 972,49	0,05	66 736,90	66 551,23	1 274 920,83	1 275 523,72	1 274 920,83	Azambuja (38), Gavião (80)
0,96	1 220 901,65	1 221 698,51	0,04	53 389,52	53 240,98	1 274 291,17	1 274 939,50	1 274 291,17	Azambuja (38), Gavião (80)
0,97	1 233 619,38	1 234 424,54	0,03	40 042,14	39 930,74	1 273 661,52	1 274 355,28	1 273 661,52	Azambuja (38), Gavião (80)
0,98	1 246 337,10	1 247 150,56	0,02	26 694,76	26 620,49	1 273 031,86	1 273 771,06	1 273 031,86	Azambuja (38), Gavião (80)
0,99	1 259 054,83	1 259 876,59	0,01	13 347,38	13 310,25	1 272 402,21	1 273 186,84	1 272 402,21	Azambuja (38), Gavião (80)
1,00	1 271 772,55	1 272 602,62	0,00	0,00	0,00	1 271 772,55	1 272 602,62	1 271 772,55	Azambuja (38), Gavião (80)

ANEXO J

Este anexo destina-se à descrição do Estudo de caso 2 – FI.

Tratamento de dados

I. Aplicação da Análise ABC aos clientes do Serviço_FI

Relativamente ao Serviço_LAS, durante o ano de 2019, foram prestados serviços a 147 clientes. Este valor abrange todos os transportes realizados em nome da TPD_TV, incluindo serviços prestados por empresas subcontratadas.

A Análise ABC dos clientes do Serviço_FI, (Tabela J1 e Figura J1), foi realizada analogamente à do Serviço_LAS, tendo-se verificado que 81,8% dos serviços foram prestados a 30 clientes (20,4% do conjunto), constituindo a classe A. Relativamente à classe B, 13,5% dos transportes efetuados corresponderam a 43 clientes (29,3% do conjunto). Na classe C encontram-se os restantes 74 clientes (50,3% do conjunto), aos quais foram prestados apenas 4,7% dos serviços. O código de cores é idêntico ao definido para o Serviço_LAS.

Conclui-se assim que, em 2019, a empresa prestou serviços a 73 clientes regulares e 74 clientes ocasionais, que correspondem respetivamente a 49,6% e a 50,3% da totalidade dos clientes servidos nesse ano. Por sua vez, a percentagem de clientes regulares e ocasionais correspondeu, respetivamente, a 95,3% e a 4,7% da totalidade dos serviços realizados.

Tabela J 1 - Análise ABC dos clientes do Serviço_FI em 2019

Referência atribuída aos clientes servidos em 2019	%	Acumulado (%)	Frequência absoluta (n° de serviços)	Frequência absoluta acumulada (n° de serviços)	Frequência relativa (%)	Frequência relativa acumulada (%)
CFI 61	0,68	0,68	383,00	383,00	19,01	19,01
CFI 56	0,68	1,36	177,00	560,00	8,78	27,79
CFI 147	0,68	2,04	177,00	697,00	6,89	34,69
CFI 103	0,68	2,72	112,00	809,00	5,56	40,15
CFI 45	0,68	3,40	73,00	882,00	3,62	43,77
CFI 89	0,68	4,08	71,00	953,00	3,52	47,29
CFI 143	0,68	4,76	68,00	1021,00	3,37	50,67
CFI 49	0,68	5,44	63,00	1084,00	3,13	53,80
CFI 83	0,68	6,12	51,00	1135,00	2,53	56,33
CFI 121	0,68	6,80	45,00	1179,00	2,13	58,46
CFI 126	0,68	7,48	40,00	1218,00	1,99	60,45
CFI 106	0,68	8,16	32,00	1250,00	1,59	62,03
CFI 119	0,68	8,84	31,00	1281,00	1,54	63,57
CFI 87	0,68	9,52	29,00	1310,00	1,44	65,01
CFI 26	0,68	10,20	28,00	1338,00	1,39	66,40
CFI 70	0,68	10,88	27,00	1365,00	1,34	67,74
CFI 2	0,68	11,56	26,00	1391,00	1,29	69,03
CFI 35	0,68	12,24	26,00	1417,00	1,29	70,32
CFI 68	0,68	12,93	26,00	1443,00	1,29	71,61
CFI 110	0,68	13,61	25,00	1468,00	1,24	72,85
CFI 116	0,68	14,29	25,00	1493,00	1,19	74,09
CFI 144	0,68	14,97	25,00	1518,00	1,24	75,33
CFI 135	0,68	15,65	20,00	1538,00	0,99	76,33
CFI 4	0,68	16,33	18,00	1556,00	0,91	77,23
CFI 108	0,68	17,01	17,00	1573,00	0,84	78,06
CFI 142	0,68	17,69	16,00	1589,00	0,79	78,86
CFI 22	0,68	18,37	15,00	1604,00	0,74	79,60
CFI 88	0,68	19,05	15,00	1619,00	0,74	80,34
CFI 92	0,68	19,73	15,00	1634,00	0,74	81,09
CFI 122	0,68	20,41	15,00	1649,00	0,74	81,84
CFI 76	0,68	21,09	13,00	1662,00	0,65	82,48
CFI 94	0,68	21,77	13,00	1675,00	0,65	83,13
CFI 117	0,68	22,45	11,00	1686,00	0,55	83,67
CFI 32	0,68	23,13	10,00	1696,00	0,50	84,17
CFI 47	0,68	23,81	10,00	1706,00	0,49	84,67
CFI 98	0,68	24,49	10,00	1716,00	0,50	85,16
CFI 109	0,68	25,17	10,00	1726,00	0,50	85,66
CFI 12	0,68	25,85	9,00	1735,00	0,45	86,10
CFI 29	0,68	26,53	9,00	1744,00	0,45	86,55
CFI 40	0,68	27,21	9,00	1753,00	0,45	87,00
CFI 77	0,68	27,89	9,00	1762,00	0,45	87,44
CFI 129	0,68	28,57	9,00	1771,00	0,45	87,89
CFI 1	0,68	29,25	8,00	1779,00	0,40	88,29
CFI 33	0,68	29,93	8,00	1787,00	0,40	88,68
CFI 46	0,68	30,61	8,00	1795,00	0,40	89,08
CFI 99	0,68	31,29	8,00	1803,00	0,40	89,48
CFI 6	0,68	31,97	7,00	1810,00	0,35	89,83
CFI 8	0,68	32,65	7,00	1817,00	0,35	90,17
CFI 89	0,68	33,33	7,00	1824,00	0,35	90,52
CFI 14	0,68	34,01	5,00	1829,00	0,25	90,77
CFI 17	0,68	34,69	5,00	1834,00	0,25	91,02
CFI 54	0,68	35,37	5,00	1839,00	0,25	91,27
CFI 59	0,68	36,05	5,00	1844,00	0,25	91,51
CFI 105	0,68	36,73	5,00	1849,00	0,25	91,76
CFI 120	0,68	37,41	5,00	1854,00	0,25	92,01
CFI 124	0,68	38,10	5,00	1859,00	0,25	92,26
CFI 128	0,68	38,78	5,00	1864,00	0,25	92,51
CFI 18	0,68	39,46	4,00	1868,00	0,20	92,76
CFI 38	0,68	40,14	4,00	1872,00	0,20	92,96
CFI 57	0,68	40,82	4,00	1876,00	0,20	93,16
CFI 58	0,68	41,50	4,00	1880,00	0,20	93,36
CFI 78	0,68	42,18	4,00	1884,00	0,20	93,56
CFI 85	0,68	42,86	4,00	1888,00	0,20	93,76
CFI 104	0,68	43,54	4,00	1892,00	0,20	93,96
CFI 115	0,68	44,22	4,00	1896,00	0,20	94,09
CFI 141	0,68	44,90	4,00	1900,00	0,20	94,29
CFI 43	0,68	45,58	3,00	1903,00	0,15	94,44
CFI 48	0,68	46,26	3,00	1906,00	0,15	94,59
CFI 63	0,68	46,94	3,00	1909,00	0,15	94,74
CFI 71	0,68	47,62	3,00	1912,00	0,15	94,89
CFI 81	0,68	48,30	3,00	1915,00	0,15	95,04
CFI 137	0,68	48,98	3,00	1918,00	0,15	95,19
CFI 139	0,68	49,66	3,00	1921,00	0,15	95,34
CFI 36	0,68	50,34	2,00	1923,00	0,10	95,43
CFI 39	0,68	51,02	2,00	1925,00	0,10	95,53
CFI 37	0,68	51,70	2,00	1927,00	0,10	95,63
CFI 50	0,68	52,38	2,00	1929,00	0,10	95,73
CFI 51	0,68	53,06	2,00	1931,00	0,10	95,83
CFI 52	0,68	53,74	2,00	1933,00	0,10	95,93
CFI 53	0,68	54,42	2,00	1935,00	0,10	96,03
CFI 62	0,68	55,10	2,00	1937,00	0,10	96,13
CFI 73	0,68	55,78	2,00	1939,00	0,10	96,23
CFI 80	0,68	56,46	2,00	1941,00	0,10	96,33
CFI 82	0,68	57,14	2,00	1943,00	0,10	96,43
CFI 93	0,68	57,82	2,00	1945,00	0,10	96,53
CFI 100	0,68	58,50	2,00	1947,00	0,10	96,63
CFI 102	0,68	59,18	2,00	1949,00	0,10	96,72
CFI 107	0,68	59,86	2,00	1951,00	0,10	96,82
CFI 123	0,68	60,54	2,00	1953,00	0,10	96,92
CFI 125	0,68	61,22	2,00	1955,00	0,10	97,02
CFI 127	0,68	61,90	2,00	1957,00	0,10	97,12
CFI 130	0,68	62,59	2,00	1959,00	0,10	97,22
CFI 140	0,68	63,27	2,00	1961,00	0,10	97,32
CFI 3	0,68	63,95	1,00	1962,00	0,05	97,37
CFI 5	0,68	64,63	1,00	1963,00	0,05	97,42
CFI 7	0,68	65,31	1,00	1964,00	0,05	97,47
CFI 9	0,68	65,99	1,00	1965,00	0,05	97,52
CFI 10	0,68	66,67	1,00	1966,00	0,05	97,57
CFI 11	0,68	67,35	1,00	1967,00	0,05	97,62
CFI 13	0,68	68,03	1,00	1968,00	0,05	97,67
CFI 15	0,68	68,71	1,00	1969,00	0,05	97,72
CFI 20	0,68	69,39	1,00	1970,00	0,05	97,77
CFI 21	0,68	70,07	1,00	1971,00	0,05	97,82
CFI 23	0,68	70,75	1,00	1972,00	0,05	97,87
CFI 24	0,68	71,43	1,00	1973,00	0,05	97,92
CFI 25	0,68	72,11	1,00	1974,00	0,05	97,97
CFI 27	0,68	72,79	1,00	1975,00	0,05	98,01
CFI 28	0,68	73,47	1,00	1976,00	0,05	98,06
CFI 29	0,68	74,15	1,00	1977,00	0,05	98,11
CFI 30	0,68	74,83	1,00	1978,00	0,05	98,16
CFI 31	0,68	75,51	1,00	1979,00	0,05	98,21
CFI 34	0,68	76,19	1,00	1980,00	0,05	98,26
CFI 36	0,68	76,87	1,00	1981,00	0,05	98,31
CFI 41	0,68	77,55	1,00	1982,00	0,05	98,36
CFI 42	0,68	78,23	1,00	1983,00	0,05	98,41
CFI 44	0,68	78,91	1,00	1984,00	0,05	98,46
CFI 55	0,68	79,59	1,00	1985,00	0,05	98,51
CFI 60	0,68	80,27	1,00	1986,00	0,05	98,56
CFI 64	0,68	80,95	1,00	1987,00	0,05	98,61
CFI 65	0,68	81,63	1,00	1988,00	0,05	98,66
CFI 66	0,68	82,31	1,00	1989,00	0,05	98,71
CFI 67	0,68	82,99	1,00	1990,00	0,05	98,76
CFI 69	0,68	83,67	1,00	1991,00	0,05	98,81
CFI 72	0,68	84,35	1,00	1992,00	0,05	98,86
CFI 74	0,68	85,03	1,00	1993,00	0,05	98,91
CFI 75	0,68	85,71	1,00	1994,00	0,05	98,96
CFI 79	0,68	86,39	1,00	1995,00	0,05	99,01
CFI 84	0,68	87,07	1,00	1996,00	0,05	99,06
CFI 86	0,68	87,76	1,00	1997,00	0,05	99,11
CFI 91	0,68	88,44	1,00	1998,00	0,05	99,16
CFI 95	0,68	89,12	1,00	1999,00	0,05	99,21
CFI 96	0,68	89,80	1,00	2000,00	0,05	99,26
CFI 97	0,68	90,48	1,00	2001,00	0,05	99,31
CFI 101	0,68	91,16	1,00	2002,00	0,05	99,35
CFI 111	0,68	91,84	1,00	2003,00	0,05	99,40
CFI 112	0,68	92,52	1,00	2004,00	0,05	99,45
CFI 113	0,68	93,20	1,00	2005,00	0,05	99,50
CFI 114	0,68	93,88	1,00	2006,00	0,05	99,55
CFI 118	0,68	94,56	1,00	2007,00	0,05	99,60
CFI 131	0,68	95,24	1,00	2008,00	0,05	99,65
CFI 132	0,68	95,92	1,00	2009,00	0,05	99,70
CFI 133	0,68	96,60	1,00	2010,00	0,05	99,75
CFI 134	0,68	97,28	1,00	2011,00	0,05	99,80
CFI 136	0,68	97,96	1,00	2012,00	0,05	99,85
CFI 138	0,68	98,64	1,00	2013,00	0,05	99,90
CFI 145	0,68	99,32	1,00	2014,00	0,05	99,95
CFI 146	0,68	100,00	1,00	2015,00	0,05	100,00

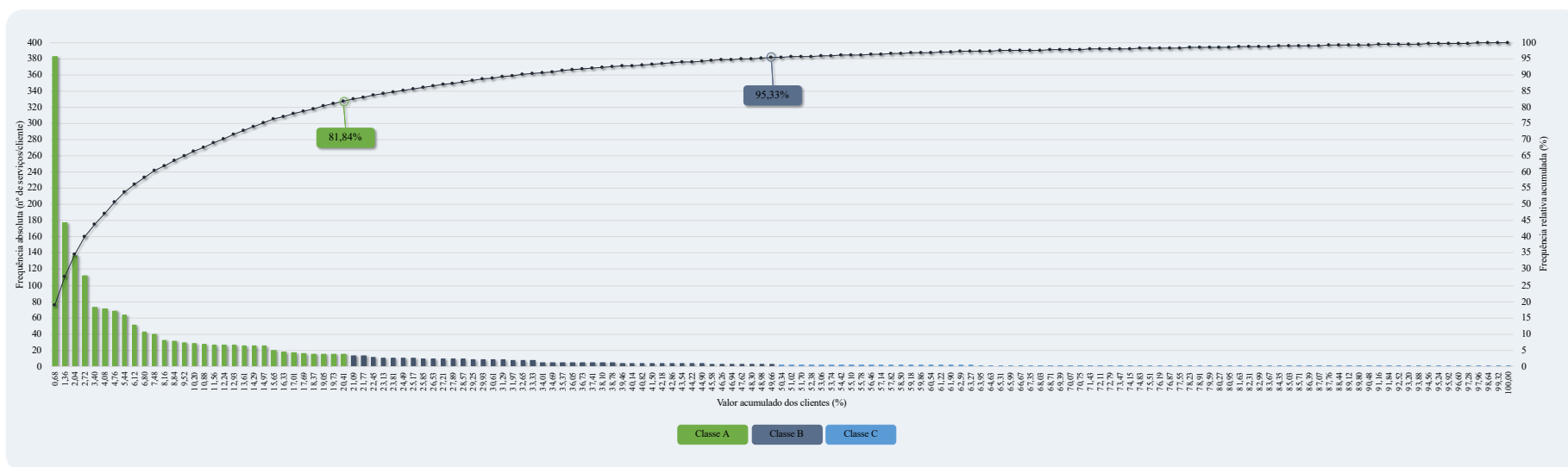


Figura J 1 – Análise ABC dos clientes Serviço_FI 2019

II. Caraterização dos pontos de carga e descarga

a) Determinação dos pontos de carga/descarga

Analogamente ao Serviço_LAS, determinou-se a um conjunto de percursos críticos mais reduzido. Para este serviço, também não foi possível aplicar o problema de PL de acordo com as localizações dos clientes, uma vez que, analisando o conjunto de pontos de carga/descarga associados a cada serviço, para o ano de 2019, e respetivos clientes, se verificou:

- 23,1% e 49,2 % dos clientes regulares estão associados a pontos de carga e descarga em comum, respetivamente;
- 15,2% dos locais de carga e 24,1% dos locais de descarga foram identificados como sendo comuns a vários serviços prestados a diferentes clientes.

A análise por trator também não foi possível. Do mesmo modo, determinaram-se as localizações a introduzir nos problemas de PL através das próprias localizações dos pontos de carga/descarga de mercadorias. O conjunto dos pontos de carga/descarga críticos analisados ficou então constituído por 107 pontos de carga/descarga críticos em Portugal e 11 em Espanha, num total de 118 locais. O conjunto inicial de clientes também ficou mais reduzido passando de 147 clientes (com 73 deles regulares), para apenas 65 clientes regulares.

b) Agregação dos pontos de carga/descarga em concelhos

Analogamente ao Serviço_LAS, agregaram-se os pontos de carga/descarga por concelhos, identificando-se 54 concelhos em Portugal, distribuídos por 11 distritos (Figura J2) e 7 províncias em Espanha, ao longo de 4 comunidades autónomas (Figura J3), perfazendo um total de 61 localizações. Nas figuras, entre parêntesis encontram-se os números de concelhos (ou províncias espanholas), correspondentes a pontos de carga/descarga, em cada distrito (ou comunidade autónoma).

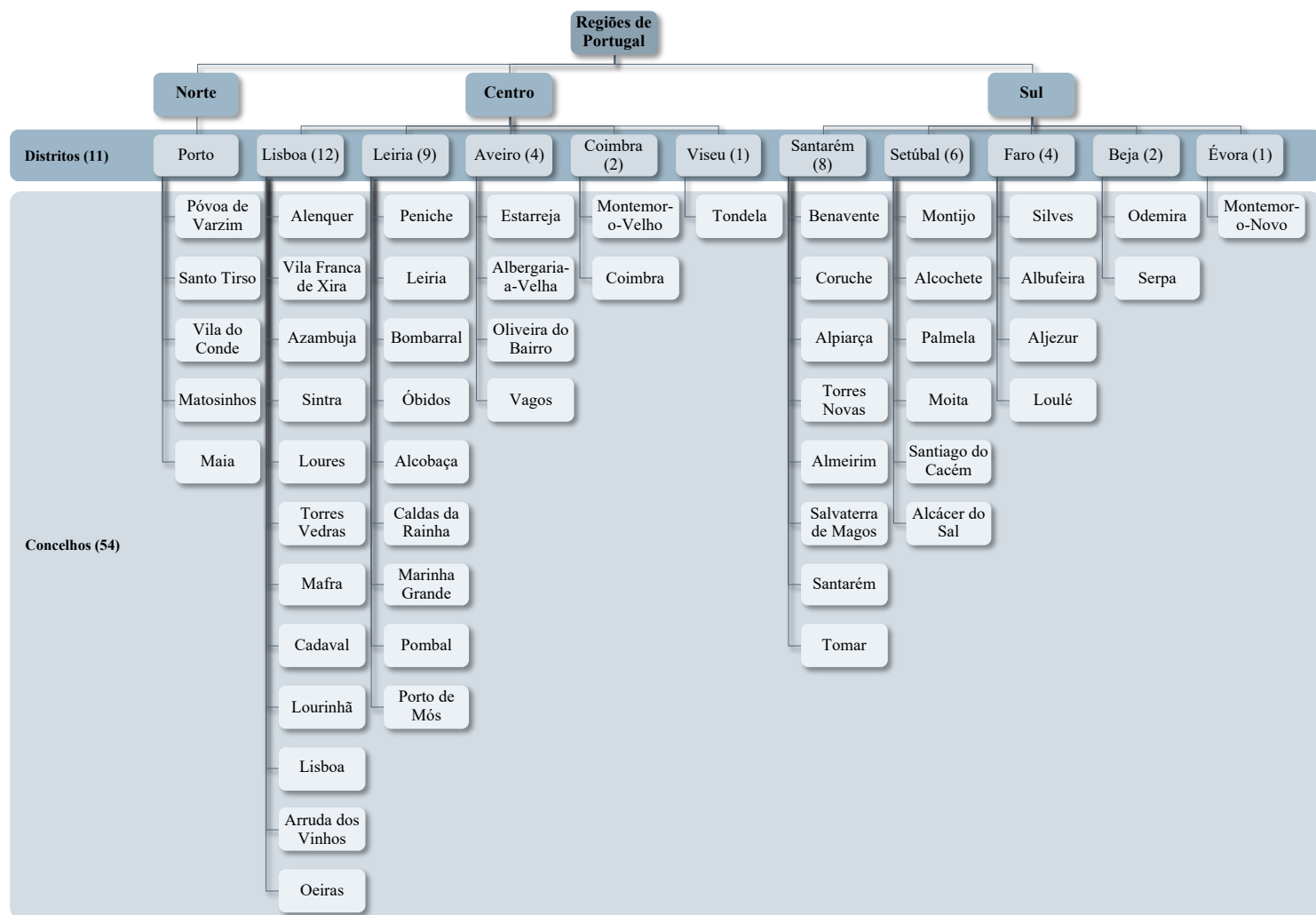


Figura J 2 - Pontos de carga/descarga (concelhos) associados aos transportes realizados pelo Serviço_FI em 2019

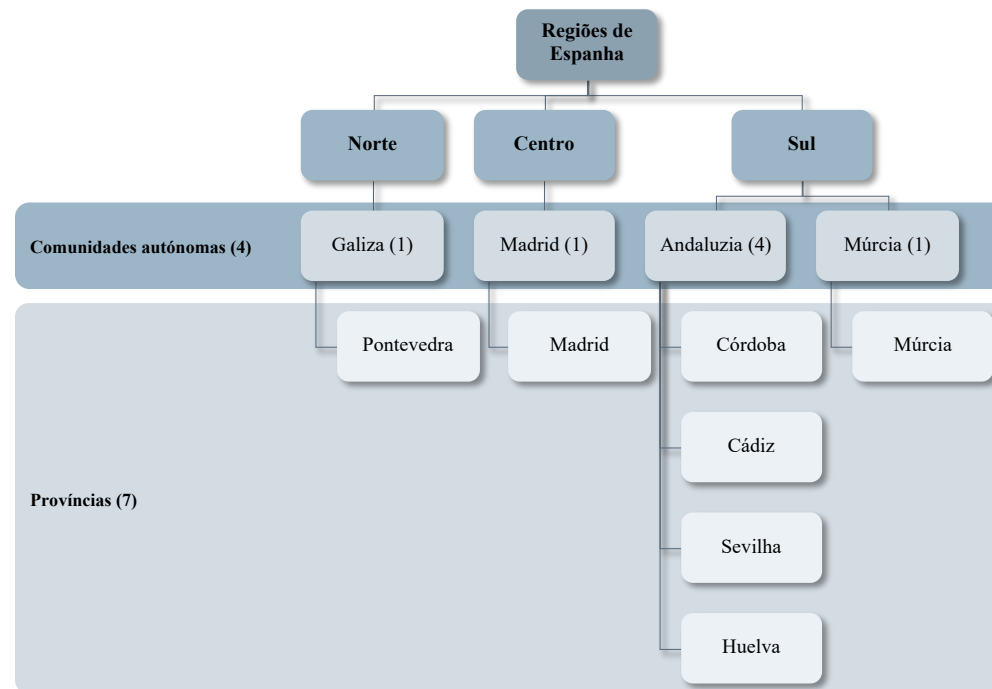


Figura J 3 - Pontos de carga/descarga (províncias espanholas) associados aos transportes realizados pelo Serviço_FI em 2019

c) Distribuição geográfica dos pontos de carga e descarga

As Tabelas J2 e J3 apresentam as regiões, e respetivos distritos e concelhos, associadas a deslocações em vazio, em Portugal e Espanha respetivamente. Para este serviço, em Portugal, as regiões onde são realizadas mais deslocações deste tipo são o centro e o sul, com 5 distritos cada uma, embora com maior incidência nos concelhos da região centro, que representam 51,9% dos 54 concelhos analisados. No entanto, os pontos de carga/descarga da zona sul apresentam ainda 38,9% da totalidade do conjunto de concelhos. O conjunto de concelhos pertencentes às regiões centro e sul, visitados por viaturas vazias, perfazem mais de 90% do conjunto. Em Espanha as viagens em vazio estão associadas a 1 comunidade autónoma nas regiões norte e centro do país, e por 2 na região sul. Neste país, a zona sul é a que apresenta um maior número de províncias visitadas, quase 71,4% das 7 províncias analisadas. Portugal é o país que apresenta mais deslocações deste tipo.

Tabela J 2 - Transportes realizados pelo Serviço_FI em cada região portuguesa, por distrito e concelho, e respetiva percentagem de concelhos por região

Região geográfica de Portugal	Número de distritos por região	Número de concelhos por região	Percentagem de concelhos por região
Norte	1	5	9,3%
Centro	5	28	51,9%
Sul	5	21	38,9%

Tabela J 3 - Transportes realizados pelo Serviço_FI em cada região espanhola, por comunidade autónoma e província, e respetiva percentagem de províncias por região

Região geográfica de Espanha	Número de comunidades autónomas por região	Número de províncias por região	Percentagem de províncias por região
Norte	1	1	14,3%
Centro	1	1	14,3%
Sul	2	5	71,4%

III. Determinação da procura e das potenciais localizações

a) Procura

O vetor procura (d_j), Tabela J4, traduz o número de deslocações em vazio realizadas entre a base atual, em Torres Vedras, e os pontos de carga/descarga (concelhos), durante o ano de 2019.

Tabela J 4 - Procura do Serviço_FI em 2019

Serviço_FI			
Concelho	Procura em 2019 (a)	Concelho	Procura em 2019 (a)
Vila Franca de Xira	321	Aljezur	4
Azambuja	163	Caldas da Rainha	4
Odemira	150	Marinha Grande	4
Cadaval	76	Peniche	4
Alcobaça	69	Póvoa de Varzim	4
Bombarral	59	Alpiarça	3
Torres Vedras	30	Córdoba	3
Santiago do Cacém	27	Maia	3
Alenquer	25	Vila do Conde	3
Oeiras	25	Arruda dos Vinhos	2
Montijo	23	Coruche	2
Palmela	22	Huelva	2
Sintra	22	Leiria	2
Moita	19	Serpa	2
Loures	18	Sevilha	2
Estarreja	17	Tondela	2
Lourinhã	17	Albufeira	1
Salvaterra de Magos	17	Coimbra	1
Tomar	15	Lisboa	1
Alcochete	14	Loulé	1
Mafra	12	Madrid	1
Óbidos	12	Montemor-o-Novo	1
Almeirim	11	Montemor-o-Velho	1
Alcácer do Sal	8	Múrcia	1
Silves	8	Oliveira do Bairro	1
Benavente	7	Pombal	1
Matosinhos	7	Pontevedra	1
Cádiz	5	Porto de Mós	1
Santarém	5	Torres Novas	1
Santo Tirso	5	Vagos	1
Albergaria-a-Velha	4		

(a) Número de deslocações em vazio/ano

b) *Potenciais localizações a analisar*

As potenciais localizações a estudar para o estacionamento das viaturas (vetor I), foram determinadas analogamente ao Serviço_LAS, através de uma Análise ABC (Tabela J5 e Figura J4). O código de cores é idêntico ao serviço anterior. Para o Serviço_FI, verificou-se que 79,96% dos quilómetros anuais em vazio (101 710,70 km) estão associados a 26,23% dos concelhos (16 concelhos). Estes valores correspondem às localizações classificadas como sendo de classe A. A Tabela E1, no anexo E, apresenta as potenciais localizações (vetor I) a analisar para ambos os serviços.

Adicionalmente, a empresa solicitou o estudo das localizações Azambuja, Vila Franca de Xira e Torres Vedras, pelo que se tomou este pedido em consideração, introduzindo no vetor I as localizações em falta. É de salientar que as duas primeiras já pertenciam à classe A, de modo que apenas se acrescentou Torres Vedras ao conjunto de localizações.

Tabela J 5 - Análise ABC aos concelhos associados ao Serviço_FI, para o ano de 2019

Concelhos	%	Acumulado (%)	Frequência absoluta (km)	Frequência absoluta acumulada (km)	Frequência relativa (%)	Frequência relativa acumulada (%)
Odemira	1,64	1,64	36 000,00	36 000,00	28,30	28,30
Vila Franca de Xira	1,64	3,28	19 613,10	55 613,10	15,42	43,72
Azambuja	1,64	4,92	12 273,90	67 887,00	9,65	53,37
Alcobaça	1,64	6,56	5 161,20	73 048,20	4,06	57,43
Santiago do Cacém	1,64	8,20	4 887,00	77 935,20	3,84	61,27
Estarreja	1,64	9,84	3 774,00	81 709,20	2,97	64,24
Cádiz	1,64	11,48	3 010,00	84 719,20	2,37	66,60
Cadaval	1,64	13,11	2 508,00	87 227,20	1,97	68,58
Silves	1,64	14,75	2 320,00	89 547,20	1,82	70,40
Tomar	1,64	16,39	2 130,00	91 677,20	1,67	72,07
Matosinhos	1,64	18,03	1 974,00	93 651,20	1,55	73,63
Palmela	1,64	19,67	1 861,20	95 512,40	1,46	75,09
Córdoba	1,64	21,31	1 617,00	97 129,40	1,27	76,36
Bombarral	1,64	22,95	1 569,40	98 698,80	1,23	77,59
Santo Tirso	1,64	24,59	1 510,00	100 208,80	1,19	78,78
Montijo	1,64	26,23	1 501,90	101 710,70	1,18	79,96
Oeiras	1,64	27,87	1 472,50	103 183,20	1,16	81,12
Salvaterra de Magos	1,64	29,51	1 470,50	104 653,70	1,16	82,28
Moita	1,64	31,15	1 341,40	105 995,10	1,05	83,33
Sintra	1,64	32,79	1 298,00	107 293,10	1,02	84,35
Póvoa de Varzim	1,64	34,43	1 232,00	108 525,10	0,97	85,32
Aljezur	1,64	36,07	1 124,00	109 649,10	0,88	86,20
Almeirim	1,64	37,70	1 098,90	110 748,00	0,86	87,07
Alcácer do Sal	1,64	39,34	1 032,00	111 780,00	0,81	87,88
Sevilha	1,64	40,98	970,00	112 750,00	0,76	88,64
Alcochete	1,64	42,62	953,40	113 703,40	0,75	89,39
Múrcia	1,64	44,26	929,00	114 632,40	0,73	90,12
Vila do Conde	1,64	45,90	903,00	115 535,40	0,71	90,83
Albergaria-a-Velha	1,64	47,54	896,00	116 431,40	0,70	91,53
Maia	1,64	49,18	849,00	117 280,40	0,67	92,20
Huelva	1,64	50,82	826,00	118 106,40	0,65	92,85
Alenquer	1,64	52,46	730,00	118 836,40	0,57	93,43
Madrid	1,64	54,10	661,00	119 497,40	0,52	93,95
Loures	1,64	55,74	635,40	120 132,80	0,50	94,44
Benavente	1,64	57,38	567,00	120 699,80	0,45	94,89
Serpa	1,64	59,02	480,00	121 179,80	0,38	95,27
Óbidos	1,64	60,66	475,20	121 655,00	0,37	95,64
Tondela	1,64	62,30	464,00	122 119,00	0,36	96,01
Santarém	1,64	63,93	442,50	122 561,50	0,35	96,35
Pontevedra	1,64	65,57	439,00	123 000,50	0,35	96,70
Mafra	1,64	67,21	420,00	123 420,50	0,33	97,03
Marinha Grande	1,64	68,85	367,60	123 788,10	0,29	97,32
Lourinhã	1,64	70,49	353,60	124 141,70	0,28	97,60
Loulé	1,64	72,13	302,00	124 443,70	0,24	97,83
Alpiarça	1,64	73,77	295,80	124 739,50	0,23	98,07
Albufeira	1,64	75,41	293,00	125 032,50	0,23	98,30
Coruche	1,64	77,05	232,00	125 264,50	0,18	98,48
Peniche	1,64	78,69	228,40	125 492,90	0,18	98,66
Oliveira do Bairro	1,64	80,33	211,00	125 703,90	0,17	98,82
Leiria	1,64	81,97	198,60	125 902,50	0,16	98,98
Vagos	1,64	83,61	194,00	126 096,50	0,15	99,13
Caldas da Rainha	1,64	85,25	189,20	126 285,70	0,15	99,28
Coimbra	1,64	86,89	170,00	126 455,70	0,13	99,42
Montemor-o-Velho	1,64	88,52	156,00	126 611,70	0,12	99,54
Montemor-o-Novo	1,64	90,16	139,00	126 750,70	0,11	99,65
Pombal	1,64	91,80	135,00	126 885,70	0,11	99,75
Torres Novas	1,64	93,44	118,00	127 003,70	0,09	99,85
Porto de Mós	1,64	95,08	94,10	127 097,80	0,07	99,92
Arruda dos Vinhos	1,64	96,72	51,60	127 149,40	0,04	99,96
Lisboa	1,64	98,36	49,60	127 199,00	0,04	100,00
Torres Vedras	1,64	100,00	0,00	127 199,00	0,00	100,00

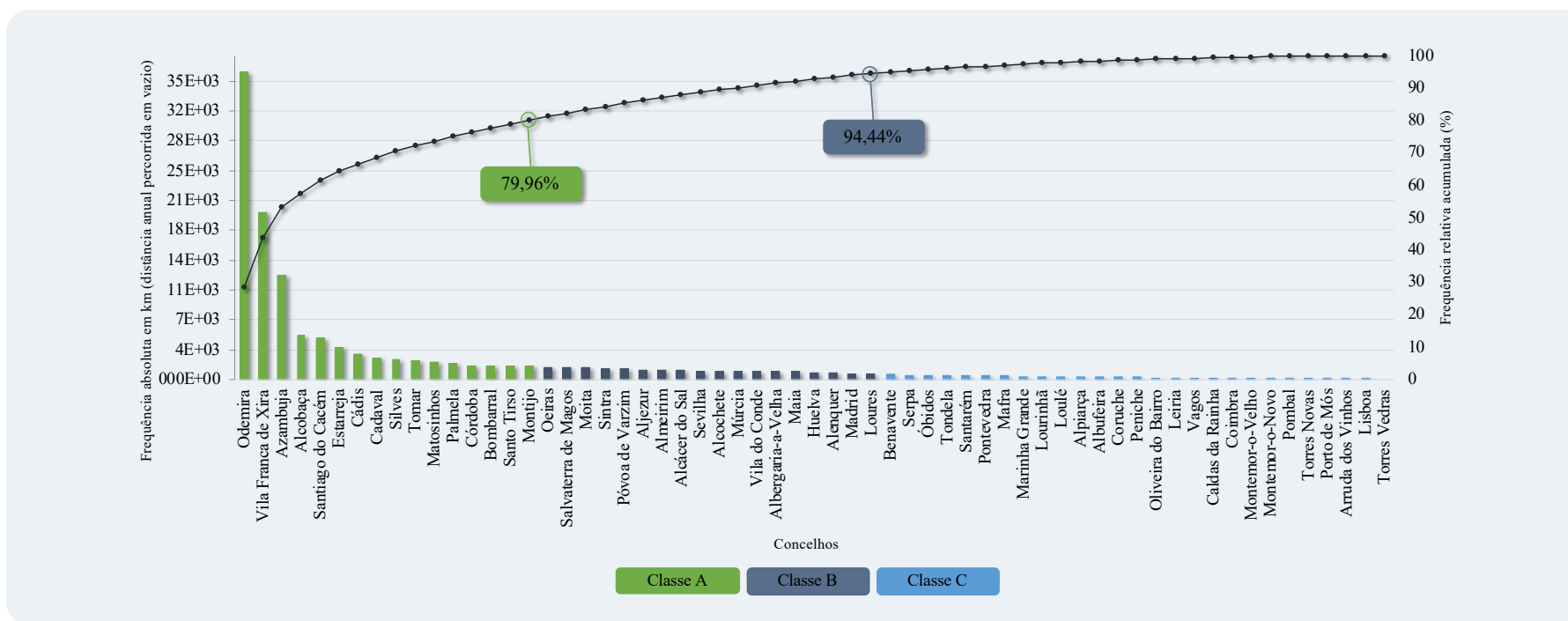


Figura J 4 – Análise ABC dos concelhos associados aos pontos de carga/descarga do Serviço_FI

IV. Custos

a) Custos fixos

A área para a nova instalação deste serviço é igual à do Serviço_LAS (46.000 m²). A determinação dos custos fixos procedeu-se da mesma maneira que o serviço anterior. A Tabela J6 apresentam os custos fixos de instalação (em €/m² e €), para o Serviço_FI, utilizados no problema de PL.

Tabela J 6 - Custos fixos de instalação (em €/m² e €) para o Serviço_FI

Serviço_FI		
Potenciais localizações	Custo fixo unitário (a)	Custo fixo de instalação (b)
Alcobaça	51,99	2 391 587,19
Azambuja	0,00	0,00
Bombarral	48,37	2 224 875,89
Cadaval	43,12	1 983 543,87
Cádiz	61,67	2 836 693,83
Córdoba	74,23	3 414 514,37
Estarreja	38,76	1 782 977,12
Matosinhos	0,00	0,00
Montijo	64,22	2 954 182,37
Odemira	89,71	4 126 797,76
Palmela	53,64	2 467 494,45
Santiago do Cacém	51,46	2 367 376,06
Santo Tirso	34,33	1 579 074,01
Silves	71,88	3 306 573,10
Tomar	32,77	1 507 430,04
Torres Vedras	0,00	0,00
Vila Franca de Xira	64,45	2 964 603,84

(a) €/m²

(b) €

Analogamente ao Serviço_LAS, também necessário introduzir os custos fixos das localizações Azambuja e Torres Vedras. Para a potencial localização em Matosinhos também foi necessário introduzir o custo fixo de compra de terreno industrial no concelho, uma vez que pertence ao vetor J e constitui uma das bases já existentes. A Tabela J7 apresenta os custos fixos de instalação (em €/m² e €) nestas zonas. Os custos fixos das restantes localizações permanecem inalterados, para qualquer problema de PL.

Tabela J 7 - Custo fixo unitário e de instalação na Azambuja, Matosinhos e Torres Vedras

Potenciais localizações	Custo fixo unitário (a)	Custo fixo de instalação (b)
Azambuja	48,96	2 252 241,12
Matosinhos	107,61	4 949 878,25
Torres Vedras	47,93	2 204 844,78

(a) €/m²

(b) €

b) Custos variáveis

- i. Custos associados às deslocações em vazio das viaturas

Segundo os dados da empresa, o custo por quilómetro para o Serviço_FI é de 0,86 €/km. A matriz de custos anuais de viagens em vazio foi desenvolvida analogamente ao serviço anterior. A Tabela J8 representa a matriz de distâncias e a Tabela J9 a matriz dos custos.

Tabela J 8 - Matriz de distâncias para o Serviço_FI

Pontos de carga/descarga	Novas localizações (km)																
	Odemira	Vila Franca de Xira	Azambuja	Alcobaca	Santiago do Cacém	Estarreja	Cádiz	Cadaval	Silves	Tomar	Matosinhos	Palmela	Córdoba	Bombarral	Santo Tirso	Montijo	Torres Vedras
Odemira	0,00	212,00	218,00	275,00	56,10	434,00	419,00	248,00	79,00	304,00	486,00	168,00	445,00	263,00	507,00	187,00	242,00
Vila Franca de Xira	212,00	0,00	19,40	77,80	152,00	237,00	588,00	50,90	261,00	107,00	289,00	64,70	511,00	83,70	310,00	45,40	57,30
Azambuja	218,00	19,40	0,00	63,70	158,00	225,00	594,00	37,00	267,00	95,30	277,00	84,00	517,00	64,70	298,00	64,70	76,10
Alcobaca	275,00	77,80	63,70	0,00	215,00	159,00	651,00	56,50	324,00	64,10	219,00	156,00	574,00	50,20	239,00	137,00	75,00
Santiago do Cacém	56,10	152,00	158,00	215,00	0,00	374,00	475,00	188,00	148,00	244,00	426,00	108,00	501,00	203,00	447,00	126,00	182,00
Estarreja	434,00	237,00	225,00	159,00	374,00	0,00	658,00	201,00	483,00	153,00	58,10	301,00	595,00	195,00	78,80	282,00	220,00
Cádiz	419,00	588,00	594,00	651,00	475,00	658,00	0,00	624,00	364,00	539,00	710,00	545,00	257,00	639,00	731,00	563,00	618,00
Cadaval	248,00	50,90	37,00	56,50	188,00	201,00	624,00	0,00	297,00	109,00	261,00	110,00	547,00	8,80	282,00	90,60	32,30
Silves	79,00	261,00	267,00	324,00	148,00	483,00	364,00	297,00	0,00	353,00	535,00	217,00	390,00	312,00	556,00	236,00	291,00
Tomar	304,00	107,00	95,30	64,10	244,00	153,00	539,00	109,00	353,00	0,00	205,00	171,00	476,00	116,00	226,00	152,00	140,00
Matosinhos	486,00	289,00	277,00	219,00	426,00	58,10	710,00	261,00	535,00	205,00	0,00	353,00	647,00	255,00	36,10	334,00	280,00
Palmela	168,00	64,70	84,00	156,00	108,00	301,00	545,00	110,00	217,00	171,00	353,00	0,00	466,00	107,00	374,00	22,60	86,10
Córdoba	445,00	511,00	517,00	574,00	501,00	595,00	257,00	547,00	390,00	476,00	647,00	467,00	0,00	562,00	668,00	486,00	541,00
Bombarral	263,00	83,70	64,70	50,20	203,00	195,00	639,00	8,80	312,00	116,00	255,00	107,00	562,00	0,00	276,00	87,90	25,80
Santo Tirso	507,00	310,00	298,00	239,00	447,00	78,80	731,00	282,00	556,00	226,00	36,10	374,00	668,00	276,00	0,00	354,00	301,00
Montijo	187,00	45,40	64,70	137,00	126,00	282,00	563,00	90,60	236,00	152,00	334,00	22,60	486,00	87,90	354,00	0,00	66,80
Oeiras	216,00	50,30	69,10	131,00	156,00	276,00	593,00	84,30	266,00	155,00	337,00	55,70	515,00	81,60	358,00	53,30	60,50
Salvatera de Magos	200,00	26,00	36,30	94,60	140,00	244,00	576,00	67,10	249,00	114,00	296,00	82,60	499,00	95,60	317,00	46,80	87,50
Moita	181,00	50,70	70,00	142,00	121,00	287,00	558,00	95,90	230,00	157,00	339,00	13,00	479,00	93,20	360,00	12,30	72,10
Sintra	226,00	50,40	69,20	131,00	165,00	276,00	602,00	84,40	275,00	156,00	338,00	64,10	524,00	81,70	358,00	56,10	60,60
Póvoa de Varzim	509,00	316,00	305,00	246,00	448,00	86,00	737,00	289,00	558,00	233,00	30,80	375,00	673,00	283,00	37,90	361,00	308,00
Aljezur	42,00	252,00	258,00	315,00	102,00	475,00	410,00	288,00	56,40	344,00	526,00	208,00	437,00	303,00	547,00	227,00	282,00
Almeirim	223,00	2,40	39,30	75,30	163,00	213,00	600,00	65,60	272,00	61,00	265,00	107,00	521,00	74,30	286,00	80,70	99,10
Alcácer do Sal	125,00	101,00	106,00	164,00	52,20	323,00	502,00	137,00	174,00	193,00	375,00	55,40	471,00	152,00	395,00	75,40	131,00
Sevilha	303,00	472,00	478,00	535,00	358,00	541,00	121,00	508,00	248,00	422,00	593,00	412,00	143,00	523,00	613,00	446,00	502,00
Alcochete	188,00	48,20	67,50	140,00	127,00	285,00	564,00	93,40	237,00	155,00	337,00	26,90	486,00	90,70	357,00	7,50	69,60
Múrcia	830,00	900,00	923,00	930,00	886,00	917,00	566,00	938,00	775,00	864,00	971,00	854,00	479,00	943,00	982,00	875,00	930,00
Vila do Conde	501,00	308,00	297,00	239,00	441,00	78,50	730,00	282,00	550,00	225,00	23,20	367,00	665,00	275,00	37,10	354,00	300,00
Albergaria-a-Velha	427,00	234,00	223,00	162,00	367,00	16,10	655,00	205,00	476,00	151,00	72,70	293,00	591,00	198,00	93,40	280,00	223,00
Maia	484,00	291,00	280,00	221,00	423,00	61,00	712,00	264,00	533,00	208,00	12,10	350,00	648,00	258,00	27,60	337,00	283,00
Huelva	215,00	384,00	390,00	447,00	271,00	606,00	210,00	420,00	160,00	476,00	658,00	286,00	236,00	435,00	679,00	359,00	414,00
Alequer	213,00	16,00	17,70	65,10	153,00	236,00	590,00	32,80	262,00	106,00	287,00	75,30	511,00	32,50	308,00	61,70	29,80
Madrid	705,00	633,00	569,00	575,00	644,00	514,00	647,00	583,00	754,00	510,00	568,00	588,00	396,00	588,00	580,00	607,00	662,00
Loures	208,00	26,60	45,40	107,00	148,00	252,00	585,00	60,60	257,00	132,00	314,00	47,30	506,00	57,90	334,00	33,70	36,80
Benavente	194,00	26,00	31,90	89,10	134,00	248,00	571,00	62,20	243,00	118,00	300,00	77,50	492,00	90,10	321,00	40,40	82,60
Serpa	126,00	212,00	217,00	275,00	106,00	434,00	308,00	248,00	141,00	304,00	486,00	167,00	328,00	263,00	506,00	186,00	242,00
Óbidos	267,00	70,10	56,00	41,30	207,00	186,00	644,00	20,70	316,00	107,00	246,00	115,00	565,00	14,10	267,00	102,00	38,90
Tondela	428,00	235,00	224,00	170,00	367,00	79,40	687,00	213,00	477,00	152,00	133,00	294,00	592,00	206,00	154,00	280,00	231,00
Santarém	232,00	51,00	27,20	63,90	172,00	202,00	609,00	54,20	281,00	71,80	254,00	116,00	530,00	62,90	274,00	89,80	87,70
Pontevedra	654,00	461,00	450,00	392,00	594,00	231,00	1 017,00	435,00	703,00	378,00	176,00	525,00	1 007,00	428,00	185,00	507,00	453,00
Mafra	242,00	46,40	65,20	107,00	170,00	252,00	607,00	60,30	280,00	152,00	312,00	70,10	529,00	57,60	332,00	56,60	24,60
Marinha Grande	319,00	126,00	104,00	30,10	259,00	139,00	696,00	72,90	369,00	57,60	199,00	167,00	530,00	66,30	220,00	154,00	91,10
Lourinhã	259,00	74,90	83,10	68,20	199,00	213,00	636,00	25,70	309,00	133,00	273,00	98,70	558,00	18,00	294,00	85,10	20,10
Loulé	104,00	273,00	279,00	336,00	160,00	496,00	323,00	309,00	49,30	366,00	547,00	229,00	349,00	324,00	568,00	248,00	303,00
Alpiarça	231,00	61,20	39,10	74,10	171,00	212,00	608,00	64,40	280,00	51,70	264,00	115,00	529,00	73,10	285,00	88,60	97,90
Albufeira	91,00	265,00	270,00	328,00	151,00	487,00	348,00	301,00	30,80	357,00	539,00	220,00	374,00	316,00	559,00	239,00	295,00
Coruche	200,00	61,40	67,30	103,00	140,00	241,00	513,00	97,60	249,00	111,00	293,00	71,50	449,00	102,00	313,00	56,50	118,00
Peniche	293,00	92,30	78,40	63,50	233,00	208,00	670,00	38,10	343,00	129,00	268,00	133,00	592,00	31,50	289,00	119,00	56,40
Oliveira do Bairro	413,00	220,00	209,00	149,00	353,00	34,80	642,00	192,00	462,00	137,00	88,60	279,00	577,00	186,00	109,00	266,00	211,00
Leiria	311,00	118,00	107,00	37,50	250,00	131,00	687,00	80,30	360,00	46,50	192,00	175,00	521,00	73,70	213,00	163,00	98,60
Vagos	411,00	219,00	208,00	132,00	351,00	33,00	647,00	175,00	461,00	142,00	93,00	270,00	582,00	169,00	114,00	256,00	193,00
Caldas da Rainha	271,00	73,80	59,90	31,20	210,00	176,00	647,00	28,40	320,00	98,00	236,00	123,00	568,00	21,80	257,00	109,00	46,60
Coimbra	365,00	173,00	162,00	108,00	305,00	77,60	583,00	151,00	415,00	78,70	129,00	232,00	519,00	144,00	150,00	218,00	169,00
Montemor-o-Velho	373,00	180,00	169,00	94,00	313,00	88,30	603,00	137,00	422,00	119,00	140,00	231,00	539,00	130,00	161,00	218,00	155,00
Montemor-o-Novo	183,00	111,00	117,00	174,00	123,00	333,00	467,00	147,00	232,00	203,00	385,00	66,20	403,00	162,00	406,00	85,40	141,00
Pombal	331,00	138,00	127,00	73,70	271,00	114,00	708,00	117,00	381,00	73,60	165,00	198,00	542,00	110,00	186,00	184,00	135,00
Torres Novas	276,00	83,40	71,80	89,90	220,00	178,00	533,00	86,50	326,00	28,60	230,00	142,00	468,00	92,30	250,00	129,00	117,00
Porto de Mós	284,00	86,70	72,80	19,40	223,00	157,00	660,00	75,10	333,00	52,00	210,00	146,00	501,00	68,50	231,00	132,00	93,40
Arruda dos Vinhos	220,00	12,20	27,60	84,80	159,00	244,00	596,00	38,60	269,00	114,00	296,00	64,40	517,00	46,80	317,00	50,90	26,40
Liaboa	204,00	30,80	50,00	121,00	144,00	267,00	581,00	75,00	253,00	137,00	319,00	43,20	502,00	72,30	340,00	33,20	51,20
Torres Vedras	242,00	57,30	76,10	75,00	182,00	220,00	618,00	32,30	291,00	140,00	280,00	86,10	541,00	25,80	301,00	66,80	0,00

Tabela J 9 - Matriz dos custos anuais de deslocações realizadas em vazio para o Serviço_FI

	Custos variáveis anuais associados a cada localização (€)																
Pontos de carga/descarga	Odemira	Vila Franca de Xira	Azambuja	Alcobaça	Santiago do Cacém	Estarreja	Cádiz	Cadaval	Silves	Tomar	Matosinhos	Palmela	Córdoba	Bombarral	Santo Tirso	Montijo	Torres Vedras
Odemira	0,00	31 800,00	32 700,00	41 250,00	8 415,00	65 100,00	62 850,00	37 200,00	11 850,00	45 600,00	72 900,00	25 200,00	66 750,00	39 450,00	76 050,00	28 050,00	36 300,00
Vila Franca de Xira	68 052,00	0,00	6 227,40	24 973,80	48 792,00	76 077,00	188 748,00	16 338,90	83 781,00	34 347,00	92 769,00	20 768,70	164 031,00	26 867,70	99 510,00	14 573,40	18 393,30
Azambuja	35 534,00	3 162,20	0,00	10 383,10	25 754,00	36 675,00	96 822,00	6 031,00	43 521,00	15 533,90	45 151,00	13 692,00	84 271,00	10 546,10	48 574,00	10 546,10	12 404,30
Alcobaça	18 975,00	5 368,20	4 395,30	0,00	14 835,00	10 971,00	44 919,00	3 898,50	22 356,00	4 422,90	15 111,00	10 764,00	39 606,00	3 463,80	16 491,00	9 453,00	5 175,00
Santiago do Cacém	1 514,70	4 104,00	4 266,00	5 805,00	0,00	10 098,00	12 825,00	5 076,00	3 996,00	6 588,00	11 502,00	2 916,00	13 527,00	5 481,00	12 069,00	3 402,00	4 914,00
Estarreja	7 378,00	4 029,00	3 825,00	2 703,00	6 358,00	0,00	11 186,00	3 417,00	8 211,00	2 601,00	987,70	5 117,00	10 115,00	3 315,00	1 339,60	4 794,00	3 740,00
Cádiz	2 095,00	2 940,00	2 970,00	3 255,00	2 375,00	3 290,00	0,00	3 120,00	1 820,00	2 695,00	3 550,00	2 725,00	1 285,00	3 195,00	3 655,00	2 815,00	3 090,00
Cadaval	18 848,00	3 868,40	2 812,00	4 294,00	14 288,00	15 276,00	47 424,00	0,00	22 572,00	8 284,00	19 836,00	8 360,00	41 572,00	668,80	21 432,00	6 885,60	2 454,80
Silves	632,00	2 088,00	2 136,00	2 592,00	1 184,00	3 864,00	2 912,00	2 376,00	0,00	2 824,00	4 280,00	1 736,00	3 120,00	2 496,00	4 448,00	1 888,00	2 328,00
Tomar	4 560,00	1 605,00	1 429,50	961,50	3 660,00	2 295,00	8 085,00	1 635,00	5 295,00	0,00	3 075,00	2 565,00	7 140,00	1 740,00	3 390,00	2 280,00	2 100,00
Matosinhos	3 402,00	2 023,00	1 939,00	1 533,00	2 982,00	406,70	4 970,00	1 827,00	3 745,00	1 435,00	0,00	2 471,00	4 529,00	1 785,00	252,70	2 338,00	1 960,00
Palmela	3 696,00	1 423,40	1 848,00	3 432,00	2 376,00	6 622,00	11 990,00	2 420,00	4 774,00	3 762,00	7 766,00	0,00	10 252,00	2 354,00	8 228,00	497,20	1 894,20
Córdoba	1 335,00	1 533,00	1 551,00	1 722,00	1 503,00	1 785,00	771,00	1 641,00	1 170,00	1 428,00	1 941,00	1 401,00	0,00	1 686,00	2 004,00	1 458,00	1 623,00
Bombarral	15 517,00	4 938,30	3 817,30	2 961,80	11 977,00	11 505,00	37 701,00	519,20	18 408,00	6 844,00	15 045,00	6 313,00	33 158,00	0,00	16 284,00	5 186,10	1 522,20
Santo Tirso	2 535,00	1 550,00	1 490,00	1 195,00	2 235,00	394,00	3 655,00	1 410,00	2 780,00	1 130,00	180,50	1 870,00	3 340,00	1 380,00	0,00	1 770,00	1 505,00
Montijo	4 301,00	1 044,20	1 488,10	3 151,00	2 898,00	6 486,00	12 949,00	2 083,80	5 428,00	3 496,00	7 682,00	519,80	11 178,00	2 021,70	8 142,00	0,00	1 536,40
Oeiras	5 400,00	1 257,50	1 727,50	3 275,00	3 900,00	6 900,00	14 825,00	2 107,50	6 650,00	3 875,00	8 425,00	1 392,50	12 875,00	2 040,00	8 950,00	1 332,50	1 512,50
Salvaterra de Magos	3 400,00	442,00	617,10	1 608,20	2 380,00	4 148,00	9 792,00	1 140,70	4 233,00	1 938,00	5 032,00	1 404,20	8 483,00	1 625,20	5 389,00	795,60	1 487,50
Moita	3 439,00	963,30	1 330,00	2 698,00	2 299,00	5 453,00	10 602,00	1 822,10	4 370,00	2 983,00	6 441,00	247,00	9 101,00	1 770,80	6 840,00	233,70	1 369,90
Sintra	4 972,00	1 108,80	1 522,40	2 882,00	3 630,00	6 072,00	13 244,00	1 856,80	6 050,00	3 432,00	7 436,00	1 410,20	11 528,00	1 797,40	7 876,00	1 234,20	1 333,20
Póvoa de Varzim	2 036,00	1 264,00	1 220,00	984,00	1 792,00	344,00	2 948,00	1 156,00	2 232,00	932,00	123,20	1 500,00	2 692,00	1 132,00	151,60	1 444,00	1 232,00
Aljezur	168,00	1 008,00	1 032,00	1 260,00	408,00	1 900,00	1 640,00	1 152,00	225,60	1 376,00	2 104,00	832,00	1 748,00	1 212,00	2 188,00	908,00	1 128,00
Almeirim	2 453,00	26,40	432,30	828,30	1 793,00	2 343,00	6 600,00	721,60	2 992,00	671,00	2 915,00	1 177,00	5 731,00	817,30	3 146,00	887,70	1 090,10
Alcácer do Sal	1 000,00	808,00	848,00	1 312,00	417,60	2 584,00	4 016,00	1 096,00	1 392,00	1 544,00	3 000,00	443,20	3 768,00	1 216,00	3 160,00	603,20	1 048,00
Sevilha	606,00	944,00	956,00	1 070,00	716,00	1 082,00	242,00	1 016,00	496,00	844,00	1 186,00	824,00	286,00	1 046,00	1 226,00	892,00	1 004,00
Alcochete	2 632,00	674,80	945,00	1 960,00	1 778,00	3 990,00	7 896,00	1 307,60	3 318,00	2 170,00	4 718,00	376,60	6 804,00	1 269,80	4 998,00	105,00	974,40
Múrcia	830,00	900,00	923,00	930,00	886,00	917,00	566,00	938,00	775,00	864,00	971,00	854,00	479,00	943,00	982,00	875,00	930,00
Vila do Conde	1 503,00	924,00	891,00	717,00	1 323,00	235,50	2 190,00	846,00	1 650,00	675,00	69,60	1 101,00	1 995,00	825,00	111,30	1 062,00	900,00
Albergaria-a-Velha	1 708,00	936,00	892,00	648,00	1 468,00	64,40	2 620,00	820,00	1 904,00	604,00	290,80	1 172,00	2 364,00	792,00	373,60	1 120,00	892,00
Maia	1 452,00	873,00	840,00	663,00	1 269,00	183,00	2 136,00	792,00	1 599,00	624,00	36,30	1 050,00	1 944,00	774,00	82,80	1 011,00	849,00
Huelva	430,00	768,00	780,00	894,00	542,00	1 212,00	420,00	840,00	320,00	952,00	1 316,00	572,00	472,00	870,00	1 358,00	718,00	828,00
Alenquer	5 325,00	400,00	442,50	1 627,50	3 825,00	5 900,00	14 750,00	820,00	6 550,00	2 650,00	7 175,00	1 882,50	12 775,00	812,50	7 700,00	1 542,50	745,00
Madrid	705,00	633,00	569,00	575,00	644,00	514,00	647,00	583,00	754,00	510,00	568,00	588,00	396,00	588,00	580,00	607,00	662,00
Loures	3 744,00	478,80	817,20	1 926,00	2 664,00	4 536,00	10 530,00	1 090,80	4 626,00	2 376,00	5 652,00	851,40	9 108,00	1 042,20	6 012,00	606,60	662,40
Benavente	1 358,00	182,00	223,30	623,70	938,00	1 736,00	3 997,00	435,40	1 701,00	826,00	2 100,00	542,50	3 444,00	630,70	2 247,00	282,80	578,20
Serpa	252,00	424,00	434,00	550,00	212,00	868,00	616,00	496,00	282,00	608,00	972,00	334,00	656,00	526,00	1 012,00	372,00	484,00
Óbidos	3 204,00	841,20	672,00	495,60	2 484,00	2 232,00	7 728,00	248,40	3 792,00	1 284,00	2 952,00	1 380,00	6 780,00	169,20	3 204,00	1 224,00	466,80
Tondela	856,00	470,00	448,00	340,00	734,00	158,80	1 374,00	426,00	954,00	304,00	266,00	588,00	1 184,00	412,00	308,00	560,00	462,00
Santarém	1 160,00	255,00	136,00	319,50	860,00	1 010,00	3 045,00	271,00	1 405,00	359,00	1 270,00	580,00	2 650,00	314,50	1 370,00	449,00	438,50
Pontevedra	654,00	461,00	450,00	392,00	594,00	231,00	1 017,00	435,00	703,00	378,00	176,00	525,00	1 007,00	428,00	185,00	507,00	453,00
Mafra	2 904,00	556,80	782,40	1 284,00	2 040,00	3 024,00	7 284,00	723,60	3 360,00	1 824,00	3 744,00	841,20	6 348,00	691,20	3 984,00	679,20	295,20
Marinha Grande	1 276,00	504,00	416,00	120,40	1 036,00	556,00	2 784,00	291,60	1 476,00	230,40	796,00	668,00	2 120,00	265,20	880,00	616,00	364,40
Lourinhã	4 403,00	1 273,30	1 412,70	1 159,40	3 383,00	3 621,00	10 812,00	436,90	5 253,00	2 261,00	4 641,00	1 677,90	9 486,00	306,00	4 998,00	1 446,70	341,70
Loulé	104,00	273,00	279,00	336,00	160,00	496,00	323,00	309,00	49,30	366,00	547,00	229,00	349,00	324,00	568,00	248,00	303,00
Alpiarça	693,00	183,60	117,30	222,30	513,00	636,00	1 824,00	193,20	840,00	155,10	792,00	345,00	1 587,00	219,30	855,00	265,80	293,70
Albufeira	91,00	265,00	270,00	328,00	151,00	487,00	348,00	301,00	30,80	357,00	539,00	220,00	374,00	316,00	559,00	239,00	295,00
Coruche	400,00	122,80	134,60	206,00	280,00	482,00	1 026,00	195,20	498,00	222,00	586,00	143,00	898,00	204,00	626,00	113,00	236,00
Peniche	1 172,00	369,20	313,60	254,00	932,00	832,00	2 680,00	152,40	1 372,00	516,00	1 072,00	532,00	2 368,00	126,00	1 156,00	476,00	225,60
Oliveira do Bairro	413,00	220,00	209,00	149,00	353,00	34,80	642,00	192,00	462,00	137,00	88,60	279,00	577,00	186,00	109,00	266,00	211,00
Leiria	622,00	236,00	214,00	75,00	500,00	262,00	1 374,00	160,60	720,00	93,00	384,00	350,00	1 042,00	147,40	426,00	326,00	197,20
Vagos	411,00	219,00	208,00	132,00	351,00	33,00	647,00	175,00	461,00	142,00	93,00	270,00	582,00	169,00	114,00	256,00	193,00
Caldas da Rainha	1 084,00	295,20	239,60	124,80	840,00	704,00	2 588,00	113,60	1 280,00	392,00	944,00	492,00	2 272,00	87,20	1 028,00	436,00	186,40
Coimbra	365,00	173,00	162,00	108,00	305,00	77,60	583,00	151,00	415,00	78,70	129,00	232,00	519,00	144,00	150,00	218,00	169,00
Montemor-o-Velho	373,00	180,00	169,00	94,00	313,00	88,30	603,00	137,00	422,00	119,00	140,00	231,00	539,00	130,00	161,00	218,00	155,00
Montemor-o-novo	183,00	111,00	117,00	174,00	123,00	333,00	467,00	147,00	232,00	203,00	385,00	66,20	403,00	162,00	406		

ii. Custos associados às deslocações dos motoristas

Esta alteração na formulação clássica do UFLP também é relevante para o estudo deste serviço, pelas mesmas razões apresentadas para o Serviço_LAS na subsecção 4.2.1.4. Segundo os dados recolhidos, atualmente a empresa emprega 36 motorista para realizarem o Serviço_FI, cujos locais de residência se situam ao longo de 11 concelhos (por razões de confidencialidade não serão especificadas estas localizações). Como referido na mesma subsecção, o custo unitário de deslocação de trabalhadores é igual a 0,36 €/km. A Tabela J10 apresenta o custo anual de deslocação dos motoristas para o serviço.

Tabela J 10 - Custo anual de deslocação por motorista para o Serviço_FI

Serviço_FI			
Potenciais localizações	Custo diário de deslocação dos motoristas (a)	Custo diário de deslocação por motorista (b)	Custo anual de deslocação por motorista (c)
Alcobaça	1 119,06	31,97	14 707,65
Azambuja	897,52	25,64	11 795,92
Bombarral	868,14	24,8	11 409,84
Cadaval	799,16	22,83	10 503,30
Cádiz	7 466,40	213,33	98 129,83
Córdoba	6 516,72	186,19	85 648,32
Estarreja	2 801,45	80,04	36 819,03
Matosinhos	3 466,12	99,03	45 554,67
Montijo	982,94	28,08	12 918,69
Odemira	3 047,04	87,06	40 046,81
Palmela	1 272,38	36,35	16 722,76
Santiago do Cacém	2 289,96	65,43	30 096,62
Santo Tirso	3 745,08	107	49 221,05
Silves	3 666,60	104,76	48 189,60
Tomar	1 542,28	44,07	20 269,91
Torres Vedras	777,56	22,22	10 219,41
Vila Franca de Xira	805,57	23,02	10 587,52

(a) €/dia

(b) €/motorista.dia

(c) €/motorista.ano

Problema de programação linear

Seguidamente, serão apresentados os resultados da análise dos problemas de PL, em duas partes: determinação da localização ótima; e análise de sensibilidade.

I. Determinação da solução ótima dos problemas de PL base e das abordagens

Analogamente ao Serviço_LAS, antes de se aplicarem as seguintes abordagens, é preciso definir o valor de p:

- **Abordagem ‘Forçar o problema a abrir mais uma instalação’:** Uma vez que na análise deste serviço apenas se consideram as bases já existentes na Azambuja, Matosinhos e Torres Vedras, para se forçar o problema a abrir mais uma instalação, definiu-se o valor 4 para p;
- **Abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’:** Considerando as mesmas instalações atuais, como se pretende liquidar uma das três bases, para a substituir por outra, o valor de p será 3. Deste modo, a abordagem dará origem a três problemas (um com o custo fixo da Azambuja nulo e os de Matosinhos e Torres Vedras não nulos, outro com o custo fixo de Matosinhos nulo e os da Azambuja e Torres Vedras não nulos, e outro com o custo fixo de Torres Vedras nulo e os da Azambuja e Matosinhos não nulos).

Aplicando a formulação dos problemas de PL apresentada na secção 3.1.1, e considerando estes valores para p, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela J11. Na segunda e terceira abordagem, todos os concelhos foram alocados a Tomar.

Tabela J 11 - Resultados obtidos pelos seis problemas de PL (Serviço_FI)

Problemas de PL		Solução ótima		Custo total (€)
		Localizações ótimas	Número de concelhos alocados por localização	
Base		Azambuja	33	70 617,95
		Matosinhos	14	
		Torres Vedras	14	
Abordagem ‘Introdução do custo de deslocação dos motoristas’		Azambuja	3	444 980,21
		Torres Vedras	58	
Abordagem ‘Liquidação de todas as instalações atuais		Tomar	61	1 667 033,31
Abordagem ‘Junção das abordagens 1 e 2’		Tomar	61	2 376 480,27
Abordagem ‘Forçar o problema a abrir mais uma instalação’		Azambuja	25	1 575 912,27
		Tomar	13	
		Matosinhos	11	
		Torres Vedras	12	
Abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’	Em Torres Vedras	Azambuja	37	1 582 277,39
		Tomar	13	
		Matosinhos	11	
	Na Azambuja	Tomar	18	1 603 246,94
		Matosinhos	11	
Torres Vedras		32		
Abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’	Em Matosinhos	Azambuja	25	1 581 631,53
		Tomar	24	
		Torres Vedras	12	

As Tabelas J12 a J17 apresentam os concelhos alocados a cada localização no problema base e na quarta e quinta (liquidação da base de Torres vedras, Azambuja e Matosinhos) abordagem, respetivamente.

Tabela J 12 - Concelhos alocados às localizações ótimas do problema de PL base (Serviço_FI)

Concelhos/províncias alocados a Azambuja	Concelhos/províncias alocados a Matosinhos	Concelhos/províncias alocados a Torres Vedras
Albufeira	Albergaria-a-Velha	Arruda dos Vinhos
Alcácer do Sal	Coimbra	Bombarral
Alcobaça	Estarreja	Cadaval
Alcochete	Madrid	Caldas da Rainha
Alenquer	Maia	Leiria
Aljezur	Matosinhos	Loures
Almeirim	Montemor-o-Velho	Lourinhã
Alpiarça	Oliveira do Bairro	Mafra
Azambuja	Pontevedra	Marinha Grande
Benavente	Póvoa de Varzim	Óbidos
Cádis	Santo Tirso	Oeiras
Córdoba	Tondela	Peniche
Coruche	Vagos	Sintra
Huelva	Vila do Conde	Torres Vedras
Lisboa		
Loulé		
Moita		
Montemor-o-Novo		
Montijo		
Múrcia		
Odemira		
Palmela		
Pombal		
Porto de Mós		
Salvaterra de Magos		
Santarém		
Santiago do Cacém		
Serpa		
Sevilha		
Silves		
Tomar		
Torres Novas		
Vila Franca de Xira		

Tabela J 13 - Concelhos alocados às localizações ótimas do problema de PL da abordagem 'Introdução dos custos de deslocação dos motoristas' (Serviço_FI)

Concelhos/províncias alocados a Azambuja	Concelhos/províncias alocados a Torres Vedras
Azambuja	Albergaria-a-Velha
Odemira	Albufeira
Vila Franca de Xira	Alcácer do Sal
	Alcobaça
	Alcochete
	Matosinhos
	Moita
	Montemor-o-Novo
	Montemor-o-Velho
	Montijo

Concelhos/províncias alocados a Azambuja	Concelhos/províncias alocados a Torres Vedras
	Alenquer
	Aljezur
	Almeirim
	Alpiarça
	Arruda dos Vinhos
	Benavente
	Bombarral
	Cadaval
	Cádiz
	Caldas da Rainha
	Coimbra
	Córdoba
	Coruche
	Estarreja
	Huelva
	Leiria
	Lisboa
	Loulé
	Loures
	Lourinhã
	Madrid
	Mafra
	Maia
	Marinha Grande
	Múrcia
	Óbidos
	Oeiras
	Oliveira do Bairro
	Palmela
	Peniche
	Pombal
	Pontevedra
	Porto de Mós
	Póvoa de Varzim
	Salvaterra de Magos
	Santarém
	Santiago do Cacém
	Santo Tirso
	Serpa
	Sevilha
	Silves
	Sintra
	Tomar
	Tondela
	Torres Novas
	Torres Vedras
	Vagos
	Vila do Conde

Tabela J 14 - Concelhos alocados às localizações ótimas do problema de PL da abordagem ‘Forçar o problema a abrir mais uma instalação’ (Serviço_FI)

Concelhos/províncias alocados a Azambuja	Concelhos/províncias alocados a Tomar	Concelhos/províncias alocados a Matosinhos	Concelhos/províncias alocados a Torres Vedras
Albufeira	Cádiz	Albergaria-a-Velha	Arruda dos Vinhos
Alcácer do Sal	Coimbra	Estarreja	Bombarral
Alcobaça	Córdoba	Maia	Cadaval
Alcochete	Leiria	Matosinhos	Caldas da Rainha
Alenquer	Madrid	Oliveira do Bairro	Loures
Aljezur	Marinha Grande	Pontevedra	Lourinhã
Almeirim	Montemor-o-Velho	Póvoa de Varzim	Mafra
Alpiarça	Múrcia	Santo Tirso	Óbidos
Azambuja	Pombal	Tondela	Oeiras
Benavente	Porto de Mós	Vagos	Peniche
Coruche	Sevilha	Vila do Conde	Sintra
Huelva	Tomar		Torres Vedras
Lisboa	Torres Novas		
Loulé			
Moita			
Montemor-o-Novo			
Montijo			
Odemira			
Palmela			
Salvaterra de Magos			
Santarém			

Concelhos/províncias alocados a Azambuja	Concelhos/províncias alocados a Tomar	Concelhos/províncias alocados a Matosinhos	Concelhos/províncias alocados a Torres Vedras
Santiago do Cacém			
Serpa			
Silves			
Vila Franca de Xira			

Tabela J 15 - Concelhos alocados às localizações ótimas da abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’ (Serviço_FI) – base de Torres Vedras fechada

Concelhos/províncias alocados a Azambuja	Concelhos/províncias alocados a Tomar	Concelhos/províncias alocados a Matosinhos
Albufeira	Cádiz	Albergaria-a-Velha
Alcácer do Sal	Coimbra	Estarreja
Alcobaça	Córdoba	Maia
Alcochete	Leiria	Matosinhos
Alenquer	Madrid	Oliveira do Bairro
Aljezur	Marinha Grande	Pontevedra
Almeirim	Montemor-o-Velho	Póvoa de Varzim
Alpiarça	Múrcia	Santo Tirso
Arruda dos Vinhos	Pombal	Tondela
Azambuja	Porto de Mós	Vagos
Benavente	Sevilha	Vila do Conde
Bombarral	Tomar	
Cadaval	Torres Novas	
Caldas da Rainha		
Coruche		
Huelva		
Lisboa		
Loulé		
Loures		
Lourinhã		
Mafra		
Moita		
Montemor-o-Novo		
Montijo		
Óbidos		
Odemira		
Oeiras		
Palmela		
Peniche		
Salvaterra de Magos		
Santarém		
Santiago do Cacém		
Serpa		
Silves		
Sintra		
Torres Vedras		
Vila Franca de Xira		

Tabela J 16 - Concelhos alocados às localizações ótimas da abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’ (Serviço_FI) – base da Azambuja fechada

Concelhos/províncias alocados a Tomar	Concelhos/províncias alocados a Matosinhos	Concelhos/províncias alocados a Torres Vedras
Alcobaça	Albergaria-a-Velha	Albufeira
Almeirim	Estarreja	Alcácer do Sal
Alpiarça	Maia	Alcochete
Cádiz	Matosinhos	Alenquer
Coimbra	Oliveira do Bairro	Aljezur
Córdoba	Pontevedra	Arruda dos Vinhos
Coruche	Póvoa de Varzim	Azambuja
Leiria	Santo Tirso	Benavente
Madrid	Tondela	Bombarral
Marinha Grande	Vagos	Cadaval
Montemor-o-Velho	Vila do Conde	Caldas da Rainha
Múrcia		Huelva
Pombal		Lisboa
Porto de Mós		Loulé
Santarém		Loures
Sevilha		Lourinhã
Tomar		Mafra
Torres Novas		Moita
		Montemor-o-Novo
		Montijo
		Óbidos
		Odemira
		Oeiras
		Palmela
		Peniche
		Salvaterra de Magos
		Santiago do Cacém
		Serpa
		Silves
		Sintra
		Torres Vedras
		Vila Franca de Xira

Tabela J 17 - Concelhos alocados às localizações ótimas da abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’ (Serviço_FI) – base de Matosinhos fechada

Concelhos/províncias alocados a Azambuja	Concelhos/províncias alocados a Tomar	Concelhos/províncias alocados a Torres Vedras
Albufeira	Albergaria-a-Velha	Arruda dos Vinhos
Alcácer do Sal	Cádiz	Bombarral
Alcobaça	Coimbra	Cadaval
Alcochete	Córdoba	Caldas da Rainha
Alenquer	Estarreja	Loures
Aljezur	Leiria	Lourinhã
Almeirim	Madrid	Mafra
Alpiarça	Maia	Óbidos
Azambuja	Marinha Grande	Oeiras
Benavente	Matosinhos	Peniche
Coruche	Montemor-o-Velho	Sintra

Concelhos/províncias alocados a Azambuja	Concelhos/províncias alocados a Tomar	Concelhos/províncias alocados a Torres Vedras
Huelva	Múrcia	Torres Vedras
Lisboa	Oliveira do Bairro	
Loulé	Pombal	
Moita	Pontevedra	
Montemor-o-Novo	Porto de Mós	
Montijo	Póvoa de Varzim	
Odemira	Santo Tirso	
Palmela	Sevilha	
Salvaterra de Magos	Tomar	
Santarém	Tondela	
Santiago do Cacém	Torres Novas	
Serpa	Vagos	
Silves	Vila do Conde	
Vila Franca de Xira		

II. Análise de sensibilidade dos problemas de PL

a) *Problema base*

A análise das variáveis associadas aos custos fixos é análoga à do Serviço_LAS. Para o Serviço_FI, para além das localizações Azambuja e Torres Vedras pertencerem à solução ótima, foi ainda introduzido o concelho de Matosinhos (a cinzento). É de salientar apenas que, neste caso, as restantes variáveis precisam de diminuir mais o valor do seu coeficiente para que a solução se altere, destacando-se, na Tabela J18, as que requerem uma menor percentagem de diminuição (a azul claro) e as que precisam de diminuir mais de 90% do seu coeficiente (a azul escuro). Este fator, juntamente com o facto de os custos fixos da Azambuja, Torres Vedras e Matosinhos não poderem aumentar sem que a solução se altere, mostram que o problema é bastante sensível a custos fixos muito elevados, tal como referido para o Serviço_LAS.

Tabela J 18 - AS do problema de PL base, Serviço_FI (variáveis de decisão dos custos fixos)

Decision Variables							
Cells	Name	Final Value	Reduced Costs	Objective Value	Allowable Increase	Allowable Decrease	Allowable Decrease (%)
B79	CF: Odemira	0,00	0,00	4 126 797,76	1E+100	2 411 355,76	58,43
C79	CF: Vila Franca de Xira	0,00	0,00	2 964 603,84	1E+100	2 637 914,43	88,98
D79	CF: Azambuja	1,00	0,00	0,00	0,00	1E+100	-
E79	CF: Alcobaça	0,00	0,00	2 391 587,19	1E+100	2 161 009,76	90,36
F79	CF: Santiago do Cacém	0,00	0,00	2 367 376,06	1E+100	1 093 384,96	46,19
G79	CF: Estarreja	0,00	0,00	1 782 977,12	1E+100	1 731 162,38	97,09
H79	CF: Cádiz	0,00	0,00	2 836 693,83	1E+100	2 680 887,63	94,51
I79	CF: Cadaval	0,00	0,00	1 983 543,87	1E+100	1 854 765,07	93,51
J79	CF: Silves	0,00	0,00	3 306 573,10	1E+100	2 212 782,10	66,92
K79	CF: Tomar	0,00	0,00	1 507 430,04	1E+100	1 432 438,47	95,03
L79	CF: Matosinhos	1,00	0,00	0,00	0,00	1E+100	-
M79	CF: Palmela	0,00	0,00	2 467 494,45	1E+100	2 074 044,45	84,05
N79	CF: Córdoba	0,00	0,00	3 414 514,37	1E+100	3 326 119,27	97,41
O79	CF: Bombarral	0,00	0,00	2 224 875,89	1E+100	2 131 182,33	95,79
P79	CF: Santo Tirso	0,00	0,00	1 579 074,01	1E+100	1 569 604,98	99,40
Q79	CF: Montijo	0,00	0,00	2 954 182,37	1E+100	2 710 243,37	91,74
R79	CF: Torres Vedras	1,00	0,00	0,00	0,00	1E+100	-

Relativamente à análise das restrições, apresentada pela Tabela J19, ao contrário do serviço anterior, todas as que garantem que as variáveis possuem valores superior a zero são consideradas não determinantes, por permitirem diminuir o RHS infinitamente. Relativamente à restrição que garante valores inferiores ou iguais a um, para as variáveis de decisão, qualquer uma pode diminuir o RHS sem alterar o custo total. Destacam-se as localizações Azambuja, Matosinhos e Torres Vedras que pertencem à solução e podem diminuir o RHS em valores menores que um (alterando a solução), o que na prática não é possível por serem variáveis binárias.

Tabela J 19 - AS do problema de PL base, Serviço_FI (restrições relativamente aos custos fixos)

Constraints						
Cells	Name	Final Value	Shadow Price	RHS Value	Allowable Increase	Allowable Decrease
B79<=1	CF: Odemira	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
C79<=1	CF: Vila Franca de Xira	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
D79<=1	CF: Azambuja	1,00	0,00	1,00	1E+100	0,46
E79<=1	CF: Alcobaça	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
F79<=1	CF: Santiago do Cacém	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
G79<=1	CF: Estarreja	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
H79<=1	CF: Cádiz	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
I79<=1	CF: Cadaval	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
J79<=1	CF: Silves	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
K79<=1	CF: Tomar	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
L79<=1	CF: Matosinhos	1,00	0,00	1,00	1E+100	0,77
M79<=1	CF: Palmela	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
N79<=1	CF: Córdoba	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
O79<=1	CF: Bombarral	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
P79<=1	CF: Santo Tirso	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
Q79<=1	CF: Montijo	0,00	0,00	1,00	1E+100	1,00
R79<=1	CF: Torres Vedras	1,00	0,00	1,00	1E+100	0,77
B79>=0	CF: Odemira	0,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
C79>=0	CF: Vila Franca de Xira	0,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
D79>=0	CF: Azambuja	1,00	0,00	0,00	1,00	1E+100
E79>=0	CF: Alcobaça	0,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
F79>=0	CF: Santiago do Cacém	0,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
G79>=0	CF: Estarreja	0,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
H79>=0	CF: Cádiz	0,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
I79>=0	CF: Cadaval	0,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
J79>=0	CF: Silves	0,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
K79>=0	CF: Tomar	0,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
L79>=0	CF: Matosinhos	1,00	0,00	0,00	1,00	1E+100
M79>=0	CF: Palmela	0,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
N79>=0	CF: Córdoba	0,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
O79>=0	CF: Bombarral	0,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
P79>=0	CF: Santo Tirso	0,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
Q79>=0	CF: Montijo	0,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
R79>=0	CF: Torres Vedras	1,00	0,00	0,00	1,00	1E+100
S79>=0	CF: Barreiro	0,00	0,00	0,00	0,00	1E+100

A análise dos custos variáveis das variáveis de decisão também é semelhante à do Serviço_LAS. Na Tabela J20, destacam-se as que pertencem à solução ótima e cuja diminuição permissível é sempre infinita, mas que podem (a branco), ou não (a cinzento), aumentar o seu coeficiente. Este último caso corresponde apenas às localizações com custos variáveis nulos (deslocações entre Azambuja-Azambuja, Matosinhos-Matosinhos e Torres Vedras-Torres Vedras).

Relativamente às variáveis que não pertencem à solução ótima, a análise é exatamente igual à apresentada para o serviço anterior, pelo que apenas se irá apresentar a Tabela J21 (resumida devido ao elevado número de variáveis) com o mesmo código de cores.

Também foi possível verificar o facto de os custos variáveis serem muito mais reduzidos que os fixos, o que acaba por reforçar a sensibilidade do problema a custos fixos muito elevados.

Tabela J 20 - AS do problema de PL base, Serviço_FI (variáveis de decisão dos custos variáveis)

Decision Variables						
Cells	Name	Final Value	Reduced Costs	Objective Value	Allowable Increase	Allowable Decrease
D83	CV:Odemira- Azambuja	1,00	0,00	28 122,00	3 096,00	1E+100
D84	CV:Vila Franca de Xira- Azambuja	1,00	0,00	5 355,56	10 462,67	1E+100
D85	CV:Azambuja- Azambuja	1,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
D86	CV:Alcobaça- Azambuja	1,00	0,00	3 779,96	670,54	1E+100
D87	CV:Santiago do Cacém- Azambuja	1,00	0,00	3 668,76	557,28	1E+100
L88	CV:Estarreja- Matosinhos	1,00	0,00	849,42	2 366,98	1E+100
D89	CV:Cádis- Azambuja	1,00	0,00	2 554,20	103,20	1E+100
R90	CV:Cadaval- Torres Vedras	1,00	0,00	2 111,13	307,19	1E+100
D91	CV:Silves- Azambuja	1,00	0,00	1 836,96	165,12	1E+100
D92	CV:Tomar- Azambuja	1,00	0,00	1 229,37	576,63	1E+100
L93	CV:Matosinhos- Matosinhos	1,00	0,00	0,00	0,00	1E+100
D94	CV:Palmela- Azambuja	1,00	0,00	1 589,28	39,73	1E+100
D95	CV:Córdoba- Azambuja	1,00	0,00	1 333,86	61,92	1E+100
R96	CV:Bombarral- Torres Vedras	1,00	0,00	1 309,09	1 973,79	1E+100
L97	CV:Santo Tirso- Matosinhos	1,00	0,00	155,23	1 126,17	1E+100
D98	CV:Montijo- Azambuja	1,00	0,00	1 279,77	41,54	1E+100
R99	CV:Oeiras- Torres Vedras	1,00	0,00	1 300,75	184,90	1E+100
D100	CV:Salvaterra de Magos- Azambuja	1,00	0,00	530,71	748,54	1E+100
D101	CV:Moita- Azambuja	1,00	0,00	1 143,80	34,31	1E+100
R102	CV:Sintra- Torres Vedras	1,00	0,00	1 146,55	162,71	1E+100
L103	CV:Póvoa de Varzim- Matosinhos	1,00	0,00	105,95	943,25	1E+100
D104	CV:Aljezur- Azambuja	1,00	0,00	887,52	82,56	1E+100
D105	CV:Almeirim- Azambuja	1,00	0,00	371,78	565,71	1E+100
D106	CV:Alcácer do Sal- Azambuja	1,00	0,00	729,28	172,00	1E+100
D107	CV:Sevilha- Azambuja	1,00	0,00	822,16	41,28	1E+100
D108	CV:Alcochete- Azambuja	1,00	0,00	812,70	25,28	1E+100
D109	CV:Múrcia- Azambuja	1,00	0,00	793,78	6,02	1E+100
L110	CV:Vila do Conde- Matosinhos	1,00	0,00	59,86	706,40	1E+100
L111	CV:Albergaria-a-Velha- Matosinhos	1,00	0,00	250,09	517,03	1E+100
L112	CV:Maia- Matosinhos	1,00	0,00	31,22	691,18	1E+100
D113	CV:Huelva- Azambuja	1,00	0,00	670,80	41,28	1E+100
D114	CV:Alenquer- Azambuja	1,00	0,00	380,55	260,15	1E+100
L115	CV:Madrid- Matosinhos	1,00	0,00	488,48	0,86	1E+100
R116	CV:Loures- Torres Vedras	1,00	0,00	569,66	133,13	1E+100
D117	CV:Benavente- Azambuja	1,00	0,00	192,04	305,21	1E+100
D118	CV:Serpa- Azambuja	1,00	0,00	373,24	43,00	1E+100
R119	CV:Óbidos- Torres Vedras	1,00	0,00	401,45	176,47	1E+100
L120	CV:Tondela- Matosinhos	1,00	0,00	228,76	156,52	1E+100
D121	CV:Santarém- Azambuja	1,00	0,00	116,96	260,15	1E+100
L122	CV:Pontevedra- Matosinhos	1,00	0,00	151,36	235,64	1E+100
R123	CV:Mafra- Torres Vedras	1,00	0,00	253,87	418,99	1E+100
R124	CV:Marinha Grande- Torres Vedras	1,00	0,00	313,38	44,38	1E+100
R125	CV:Lourinhã- Torres Vedras	1,00	0,00	293,86	921,06	1E+100
D126	CV:Loulé- Azambuja	1,00	0,00	239,94	20,64	1E+100
D127	CV:Alpiarça- Azambuja	1,00	0,00	100,88	151,70	1E+100
D128	CV:Albufeira- Azambuja	1,00	0,00	232,20	21,50	1E+100
D129	CV:Coruche- Azambuja	1,00	0,00	115,76	87,20	1E+100
R130	CV:Peniche- Torres Vedras	1,00	0,00	194,02	75,68	1E+100
L131	CV:Oliveira do Bairro- Matosinhos	1,00	0,00	76,20	103,54	1E+100
R132	CV:Leiria- Torres Vedras	1,00	0,00	169,59	14,45	1E+100
L133	CV:Vagos- Matosinhos	1,00	0,00	79,98	86,00	1E+100
R134	CV:Caldas da Rainha- Torres Vedras	1,00	0,00	160,30	45,75	1E+100
L135	CV:Coimbra- Matosinhos	1,00	0,00	110,94	28,38	1E+100
L136	CV:Montemor-o-Velho- Matosinhos	1,00	0,00	120,40	12,90	1E+100
D137	CV:Montemor-o-Novo- Azambuja	1,00	0,00	100,62	20,64	1E+100
D138	CV:Pombal- Azambuja	1,00	0,00	109,22	6,88	1E+100
D139	CV:Torres Novas- Azambuja	1,00	0,00	61,75	38,87	1E+100
D140	CV:Porto de Mós- Azambuja	1,00	0,00	62,61	17,72	1E+100
R141	CV:Arruda dos Vinhos- Torres Vedras	1,00	0,00	45,41	2,06	1E+100
D142	CV:Lisboa- Azambuja	1,00	0,00	43,00	1,03	1E+100
R143	CV:Torres Vedras- Torres Vedras	1,00	0,00	0,00	0,00	1E+100

Tabela J 21 - AS do problema de PL base, Serviço_FI (variáveis de decisão dos custos variáveis)

Decision Variables							
Cells	Name	Final Value	Reduced Costs	Objective Value	Allowable Increase	Allowable Decrease	Change in Allowable Decrease (%)
...							
R83	CV:Odemira- Torres Vedras	0,00	0,00	31 218,00	1E+100	3 096,00	9,92
...							
L85	CV:Azambuja- Matosinhos	0,00	0,00	38 829,86	1E+100	38 829,86	-
...							
R85	CV:Azambuja- Torres Vedras	0,00	0,00	10 667,70	1E+100	10 667,70	-
...							
R94	CV:Palmela- Torres Vedras	0,00	0,00	1 629,01	1E+100	39,73	2,44
...							
R95	CV:Córdoba- Torres Vedras	0,00	0,00	1 395,78	1E+100	61,92	4,44
...							
R98	CV:Montijo- Torres Vedras	0,00	0,00	1 321,30	1E+100	41,54	3,14
...							
R101	CV:Moita- Torres Vedras	0,00	0,00	1 178,11	1E+100	34,31	2,91
...							
R107	CV:Sevilha- Torres Vedras	0,00	0,00	863,44	1E+100	41,28	4,78
...							
R108	CV:Alcochete- Torres Vedras	0,00	0,00	837,98	1E+100	25,28	3,02
...							
L109	CV:Múrcia- Matosinhos	0,00	0,00	835,06	1E+100	41,28	4,94
...							
R109	CV:Múrcia- Torres Vedras	0,00	0,00	799,80	1E+100	6,02	0,75
...							
R113	CV:Huelva- Torres Vedras	0,00	0,00	712,08	1E+100	41,28	5,80
...							
D115	CV:Madrid- Azambuja	0,00	0,00	489,34	1E+100	0,86	0,18
...							
R126	CV:Loulé- Torres Vedras	0,00	0,00	260,58	1E+100	20,64	7,92
...							
R128	CV:Albufeira- Torres Vedras	0,00	0,00	253,70	1E+100	21,50	8,47
...							
D132	CV:Leiria- Azambuja	0,00	0,00	184,04	1E+100	14,45	7,85
...							
R136	CV:Montemor-o-Velho- Torres Vedras	0,00	0,00	133,30	1E+100	12,90	9,68
...							
R138	CV:Pombal- Torres Vedras	0,00	0,00	116,10	1E+100	6,88	5,93
...							
D141	CV:Arruda dos Vinhos- Azambuja	0,00	0,00	47,47	1E+100	2,06	4,35
...							
R142	CV:Lisboa- Torres Vedras	0,00	0,00	44,03	1E+100	1,03	2,34
...							
L143	CV:Torres Vedras- Matosinhos	0,00	0,00	7 224,00	1E+100	7 224,00	-
...							

Na análise da restrição que garante a satisfação de todos os concelhos por uma instalação, apenas se destacam variáveis cujo RHS não pode aumentar, mas pode diminuir em uma unidade. Como explicado anteriormente, esta situação não se adequa ao problema, pelo que não será apresentada a respetiva tabela. Adicionalmente, os preços sombra negativos também só ocorrem nas restrições que garantem concelhos afetos a instalações abertas, o que também não é exequível.

b) Abordagem 1: Introdução dos custos de deslocação dos motoristas

Relativamente aos custos fixos, verifica-se uma menor sensibilidade do problema a coeficientes mais elevado, tal como mencionado para o Serviço_LAS. Do mesmo modo, as localizações ótimas permanecem iguais às do problema base (Azambuja, Matosinhos e Torres Vedras).

Na análise dos custos variáveis também é possível retirar conclusões semelhantes às referidas no serviço anterior. A única diferença consiste nas variáveis que não pertencem à solução ótima, onde se verifica que estas não precisam de diminuir tanto os seus coeficientes para alterarem a solução, o que pode ser uma consequência do aumento do peso dos custos variáveis no problema.

c) Abordagem 2: Alteração dos custos fixos das localizações das bases já existentes

A análise dos custos fixos é semelhante à do serviço anterior. A Azambuja permaneceu como uma das melhores localizações, embora Matosinhos e Torres Vedras (solução do problema base) tenham sido substituídas por Santiago do Cacém. Esta abordagem, aplicada ao Serviço_FI também se tornou mais sensível aos custos fixos elevados.

No que respeita a análise dos custos variáveis, os concelhos que pertencem à solução ótima também possuem uma maior liberdade para aumentar os seus coeficientes sem alterar a solução. Relativamente às variáveis que não pertencem à solução, destaca-se o facto de, tal como no problema base, poderem aumentar infinitamente sem mudar o resultado, mas, contrariamente ao mesmo problema, não precisarem de diminuir tanto o seu custo para alterarem a solução. Todos estes fatores apontam para um maior peso dos custos variáveis, embora não tanto como o dos custos fixos.

Aplicação dos critérios de decisão na análise da incerteza

As decisões a analisar correspondem às soluções ótimas obtidas pelos seis problemas de PL. No entanto, analogamente ao Serviço_LAS, os gestores da empresa também referiram a importância de se analisarem outras opções (Vila Franca de Xira, Azambuja e Torres Vedras), pelo que se considerou relevante introduzir essas localizações na análise das decisões. Esta proposta também implica a afetação de todos os 61 concelhos às potenciais localizações.

I. Definição dos cenários

O serviço foca-se no transporte de produtos perecíveis, nomeadamente frutas e legumes, e pode ser dividido em exportação e importação. Na definição de cenários, esta distinção é revelante porque as flutuações na procura por estes produtos ocorrem de maneira diferente para cada tipo de transporte, sendo que o objetivo consiste no aumento da exportação e na diminuição da importação. Foram definidos 4 cenários, cada um com base na procura do cenário 1:

- **Cenário 2 (Pandemia na TPD_TV):** Este cenário foi definido com base no *feedback* dos gestores de tráfego do Serviço_FI e representa as alterações sofridas devido à pandemia. Por ser um serviço de transporte a nível europeu, a carta de clientes é mais dispersa, sendo constituída por 1 ou 2 clientes que requisitam bastantes serviços anualmente, comparativamente aos restantes. Por este motivo, os gestores de tráfego apenas expressaram preocupação pela diminuição de 50% dos transportes realizados ao seu maior cliente, que representa quase 20% da totalidade dos serviços realizados;
- **Cenário 3 (Otimista-Realista):** Em ambos os cenários 3 e 4, as alterações da procura são distintas para a exportação e importação, e foram definidas de acordo com a informação recolhida. No entanto, dada a dificuldade na recolha da informação, alguns dados referem-se ao setor agroalimentar, enquanto outros são mais específicos ao setor das frutas, legumes e flores. Foram consideradas as seguintes alterações:
 - › Relativamente ao setor das frutas, legumes e flores, um artigo no jornal Agrotec (2020) refere que a Portugal Fresh (Associação para promoção das frutas, legumes e flores de Portugal) pretende aumentar o volume de exportações deste setor em 35,8% até 2030. Por ser uma alteração positiva para o setor, esta alteração constitui a vertente otimista do cenário;
 - › No setor agroalimentar, um artigo nas Notícias ao Minuto (2020) refere que as importações têm aumentado 2,9% por ano. Por ser uma alteração verídica para o setor, esta alteração constitui a vertente realista do cenário.
- **Cenário 4 (Pessimista):** Este cenário pretende representar o impacto negativo da pandemia na distribuição de produtos alimentares a nível europeu e na empresa. Deste modo, foi contabilizado o decréscimo de 50% no número de serviços ao maior cliente e ainda as informações recolhidas analogamente ao cenário anterior. Segundo esses dados, foram consideradas as seguintes alterações:
 - › Segundo estatísticas apresentadas pelo Portal República Portuguesa (2020), a exportação do setor agroalimentar mostrou sinais de retoma entre os meses de Janeiro e Junho de 2020, apresentando um crescimento muito reduzido de 0,4%. Relativamente à importação do mesmo setor, verificou-se uma diminuição de 4,5%. Como referido anteriormente, estes dados serão extrapolados para o ano inteiro, dada a dificuldade em encontrar informação sólida sobre o tema.

A Tabela J22 representa os valores da procura para cada cenário, juntamente com a respetiva variação final relativamente ao cenário 1 (procura mantém-se).

Tabela J 22 - Procura de cada cenário, e respetiva variação face ao cenário 'Procura mantém-se', para o Serviço_FI

Concelho / Província	Cenários				Variação da procura face ao cenário 'Procura mantém-se' (b)		
	'Procura mantém-se' (a)	'Pandemia TPD_TV' (a)	'Otimista-Realista' (a)	'Pessimista' (a)	'Pandemia TPD_TV'	'Otimista-Realista'	'Pessimista'
Albergaria-a-Velha	4,00	4,00	5,55	3,94	0,00	38,70	-1,59
Albufeira	1,00	1,00	1,39	0,98	0,00	38,70	-1,59
Alcácer do Sal	8,00	8,00	11,10	7,87	0,00	38,70	-1,59
Alcobaça	69,00	69,00	95,38	68,12	0,00	38,24	-1,27
Alcochete	14,00	14,00	18,70	13,72	0,00	33,59	-2,00
Alenquer	25,00	25,00	27,21	24,96	0,00	8,82	-0,16
Aljezur	4,00	4,00	5,43	4,02	0,00	35,80	0,40
Almeirim	11,00	11,00	12,72	10,64	0,00	15,65	-3,26
Alpiarça	3,00	3,00	4,07	3,01	0,00	35,80	0,40
Arruda dos Vinhos	2,00	2,00	2,77	1,97	0,00	38,70	-1,59
Azambuja	163,00	163,00	201,23	158,60	0,00	23,46	-2,70
Benavente	7,00	7,00	8,52	6,88	0,00	21,70	-1,70
Bombarral	59,00	59,00	80,12	59,24	0,00	35,80	0,40
Cadaval	76,00	76,00	104,02	75,75	0,00	36,87	-0,33
Cádiz	5,00	5,00	6,79	5,02	0,00	35,80	0,40
Caldas da Rainha	4,00	4,00	5,43	4,02	0,00	35,80	0,40
Coimbra	1,00	1,00	1,03	0,96	0,00	2,90	-4,50
Córdoba	3,00	3,00	4,10	2,99	0,00	36,77	-0,26
Coruche	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00
Estarreja	17,00	17,00	18,21	16,29	0,00	7,11	-4,16
Huelva	2,00	2,00	2,72	2,01	0,00	35,80	0,40
Leiria	2,00	2,00	2,72	2,01	0,00	35,80	0,40
Lisboa	1,00	1,00	1,39	0,98	0,00	38,70	-1,59
Loulé	1,00	1,00	1,03	0,96	0,00	2,90	-4,50
Loures	18,00	18,00	20,20	17,52	0,00	12,20	-2,69

Concelho / Província	Cenários				Variação da procura face ao cenário 'Procura mantém-se' (b)		
	'Procura mantém-se'	'Pandemia TPD_TV'	'Otimista-Realista'	'Pessimista'	'Pandemia TPD_TV'	'Otimista-Realista'	'Pessimista'
	(a)	(a)	(a)	(a)			
Lourinhã	17,00	17,00	22,79	17,02	0,00	34,04	0,14
Madrid	1,00	0,40	1,03	0,50	-60,00	2,90	-50,00
Mafra	12,00	12,00	13,34	11,61	0,00	11,13	-3,28
Maia	3,00	3,00	3,77	2,94	0,00	25,80	-1,90
Marinha Grande	4,00	4,00	5,55	3,94	0,00	38,70	-1,59
Matosinhos	7,00	7,00	7,06	6,91	0,00	0,83	-1,29
Moita	19,00	19,00	25,80	19,08	0,00	35,80	0,40
Montemor-o-Novo	1,00	1,00	1,36	1,00	0,00	35,80	0,40
Montemor-o-Velho	1,00	1,00	1,39	0,98	0,00	38,70	-1,59
Montijo	23,00	23,00	31,79	22,71	0,00	38,20	-1,24
Múrcia	1,00	1,00	1,39	0,98	0,00	38,70	-1,59
Óbidos	12,00	12,00	16,30	12,05	0,00	35,80	0,40
Odemira	150,00	150,00	206,34	148,79	0,00	37,56	-0,81
Oeiras	25,00	25,00	25,73	23,88	0,00	2,90	-4,50
Oliveira do Bairro	1,00	1,00	1,36	1,00	0,00	35,80	0,40
Palmela	22,00	22,00	22,64	21,01	0,00	2,90	-4,50
Peniche	4,00	4,00	5,49	3,98	0,00	37,25	-0,59
Pombal	1,00	1,00	1,39	0,98	0,00	38,70	-1,59
Pontevedra	1,00	1,00	1,39	0,98	0,00	38,70	-1,59
Porto de Mós	1,00	1,00	1,03	0,96	0,00	2,90	-4,50
Póvoa de Varzim	4,00	4,00	5,52	3,96	0,00	37,98	-1,09
Salvaterra de Magos	17,00	17,00	23,09	17,07	0,00	35,80	0,40
Santarém	5,00	5,00	6,94	4,92	0,00	38,70	-1,59
Santiago do Cacém	27,00	27,00	36,72	27,07	0,00	36,01	0,25
Santo Tirso	5,00	5,00	6,79	5,02	0,00	35,80	0,40
Serpa	2,00	2,00	2,77	1,97	0,00	38,70	-1,59
Sevilha	2,00	2,00	2,72	2,01	0,00	35,80	0,40

Concelho / Província	Cenários				Variação da procura face ao cenário 'Procura mantém-se' (b)		
	'Procura mantém-se'	'Pandemia TPD_TV'	'Otimista-Realista'	'Pessimista'	'Pandemia TPD_TV'	'Otimista-Realista'	'Pessimista'
	(a)	(a)	(a)	(a)			
Silves	8,00	8,00	10,89	8,01	0,00	36,16	0,15
Sintra	22,00	22,00	23,71	21,10	0,00	7,78	-4,10
Tomar	15,00	15,00	20,40	15,04	0,00	35,99	0,27
Tondela	2,00	2,00	2,77	1,97	0,00	38,70	-1,59
Torres Novas	1,00	1,00	1,03	0,96	0,00	2,90	-4,50
Torres Vedras	30,00	30,00	35,62	29,26	0,00	18,74	-2,46
Vagos	1,00	1,00	1,36	1,00	0,00	35,80	0,40
Vila do Conde	3,00	3,00	3,75	2,96	0,00	24,83	-1,23
Vila Franca de Xira	321,00	166,80	330,88	189,88	-48,04	3,08	-40,85

(a) Viagens/ano

(b) (%)

II. Aplicação dos critérios de decisão

a) Determinação da matriz de custos das decisões

Primeiramente, determinou-se a matriz do custo total de cada decisão em cada cenário, tal como explicado na secção 3.1.2 (Tabela J23). O custo total da decisão de afetar todos os concelhos à instalação de Torres Vedras, no cenário ‘Procura mantém-se’, corresponde ao custo real da empresa associado às deslocações em vazio do serviço, relativas a clientes regulares, de/para a sede, em 2019 (custo fixo nulo).

Tabela J 23 - Matriz dos custos totais das decisões (Serviço_FI)

Modo de escolha das decisões	Decisões		Custo total em cada cenário (€)			
	Localizações ótimas	Número de concelhos alocados/localização	Cenário ‘Procura mantém-se’	Cenário ‘Pandemia na TPD_TV’	Cenário ‘Otimista-realista’	Cenário ‘Pessimista’
Problema de PL Base	Azambuja	33				
	Matosinhos	14	70 617,95	67 752,19	92 614,65	67 588,65
	Torres Vedras	14				
Problema de PL Abordagem ‘Introdução do custo das deslocações dos motoristas’	Azambuja Torres Vedras	3 58	444 980,21	442 065,95	470 309,34	441 707,85
Problema de PL Abordagem ‘Liquidação de todas as instalações atuais	Tomar	61	1 667 033,31	1 652 580,67	1 707 056,88	1 653 132,17
Problema de PL Abordagem ‘Junção das abordagens 1 e 2’	Tomar	61	2 376 480,27	2 362 027,63	2 416 503,84	2 362 579,13
Problema de PL Abordagem ‘Forçar o problema a abrir mais uma instalação’	Azambuja	25				
	Tomar	13				
	Matosinhos	11	1 575 912,27	1 573 076,44	1 597 183,06	1 572 911,28
	Torres Vedras	12				
Problema de PL Abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’	Azambuja	37				
	Tomar	13	1 582 277,39	1 579 441,56	1 605 238,83	1 579 204,38
	Matosinhos	11				
	Tomar	18				
	Matosinhos	11	1 603 246,94	1 595 385,11	1 629 431,55	1 595 641,83
	Torres Vedras	32				
	Azambuja	25				
	Tomar	24	1 581 631,53	1 578 795,70	1 604 041,48	1 578 529,46
	Torres Vedras	12				
Proposta da empresa (a)	Vila Franca de Xira	118	3 046 805,82	3 046 479,19	3 072 940,70	3 045 703,29
Proposta da empresa (a)	Azambuja	118	85 782,33	85 782,33	111 229,32	82 514,18
Proposta da empresa (a)	Torres Vedras	118	108 813,48	108 813,48	138 129,73	100 954,65
Proposta da empresa (b)	Vila Franca de Xira	118	3 417 368,94	3 417 042,31	3 443 503,82	3 416 266,41

Proposta da empresa (b)	Azambuja	118	498 639,69	495 773,42	524 086,68	495 371,54
Proposta da empresa (b)	Torres Vedras	118	466 492,92	458 552,66	495 809,17	458 634,09

- (a) Sem custos de deslocação dos motoristas
- (b) Com custos de deslocação dos motoristas

Tal como para o Serviço_LAS, a aplicação dos critérios de decisão só poderia ser feita para as soluções ótimas obtidas pela abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’ e para as três decisões sugeridas pelos gestores da empresa (Vila Franca de Xira, Azambuja e Torres Vedras. Contudo, pela análise da tabela, verificou-se que:

- **Para a abordagem ‘Liquidação de uma instalação atual’:** De entre as três soluções, a que se refere a afetar 25 concelhos à Azambuja, 24 a Tomar e 12 a Torres vedras, é a que origina o menor custo total, em qualquer cenário;
- **Sem considerar os custos de deslocação dos motoristas:** A solução que origina o menor custo total em qualquer cenário é a Azambuja;
- **Introduzindo os custos de deslocação dos motoristas:** A decisão com menor custo total é sempre Torres Vedras.

O facto de as decisões não variarem com os cenários, deve-se à elevada sensibilidade do UFLP a custos fixos muito superiores aos variáveis, tal como se verificou pela AS. Posto isto, não é necessário aplicarem-se os critérios de decisão a estas decisões.